



Acerca de este libro

Esta es una copia digital de un libro que, durante generaciones, se ha conservado en las estanterías de una biblioteca, hasta que Google ha decidido escanearlo como parte de un proyecto que pretende que sea posible descubrir en línea libros de todo el mundo.

Ha sobrevivido tantos años como para que los derechos de autor hayan expirado y el libro pase a ser de dominio público. El que un libro sea de dominio público significa que nunca ha estado protegido por derechos de autor, o bien que el período legal de estos derechos ya ha expirado. Es posible que una misma obra sea de dominio público en unos países y, sin embargo, no lo sea en otros. Los libros de dominio público son nuestras puertas hacia el pasado, suponen un patrimonio histórico, cultural y de conocimientos que, a menudo, resulta difícil de descubrir.

Todas las anotaciones, marcas y otras señales en los márgenes que estén presentes en el volumen original aparecerán también en este archivo como testimonio del largo viaje que el libro ha recorrido desde el editor hasta la biblioteca y, finalmente, hasta usted.

Normas de uso

Google se enorgullece de poder colaborar con distintas bibliotecas para digitalizar los materiales de dominio público a fin de hacerlos accesibles a todo el mundo. Los libros de dominio público son patrimonio de todos, nosotros somos sus humildes guardianes. No obstante, se trata de un trabajo caro. Por este motivo, y para poder ofrecer este recurso, hemos tomado medidas para evitar que se produzca un abuso por parte de terceros con fines comerciales, y hemos incluido restricciones técnicas sobre las solicitudes automatizadas.

Asimismo, le pedimos que:

- + *Haga un uso exclusivamente no comercial de estos archivos* Hemos diseñado la Búsqueda de libros de Google para el uso de particulares; como tal, le pedimos que utilice estos archivos con fines personales, y no comerciales.
- + *No envíe solicitudes automatizadas* Por favor, no envíe solicitudes automatizadas de ningún tipo al sistema de Google. Si está llevando a cabo una investigación sobre traducción automática, reconocimiento óptico de caracteres u otros campos para los que resulte útil disfrutar de acceso a una gran cantidad de texto, por favor, envíenos un mensaje. Fomentamos el uso de materiales de dominio público con estos propósitos y seguro que podremos ayudarle.
- + *Conserve la atribución* La filigrana de Google que verá en todos los archivos es fundamental para informar a los usuarios sobre este proyecto y ayudarles a encontrar materiales adicionales en la Búsqueda de libros de Google. Por favor, no la elimine.
- + *Manténgase siempre dentro de la legalidad* Sea cual sea el uso que haga de estos materiales, recuerde que es responsable de asegurarse de que todo lo que hace es legal. No dé por sentado que, por el hecho de que una obra se considere de dominio público para los usuarios de los Estados Unidos, lo será también para los usuarios de otros países. La legislación sobre derechos de autor varía de un país a otro, y no podemos facilitar información sobre si está permitido un uso específico de algún libro. Por favor, no suponga que la aparición de un libro en nuestro programa significa que se puede utilizar de igual manera en todo el mundo. La responsabilidad ante la infracción de los derechos de autor puede ser muy grave.

Acerca de la Búsqueda de libros de Google

El objetivo de Google consiste en organizar información procedente de todo el mundo y hacerla accesible y útil de forma universal. El programa de Búsqueda de libros de Google ayuda a los lectores a descubrir los libros de todo el mundo a la vez que ayuda a autores y editores a llegar a nuevas audiencias. Podrá realizar búsquedas en el texto completo de este libro en la web, en la página <http://books.google.com>



A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

- + *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.
- + *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.
- + *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.
- + *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse <http://books.google.com>

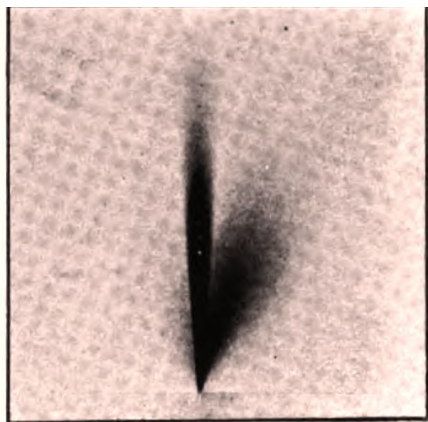


Fig. 1.



Fig. 2.

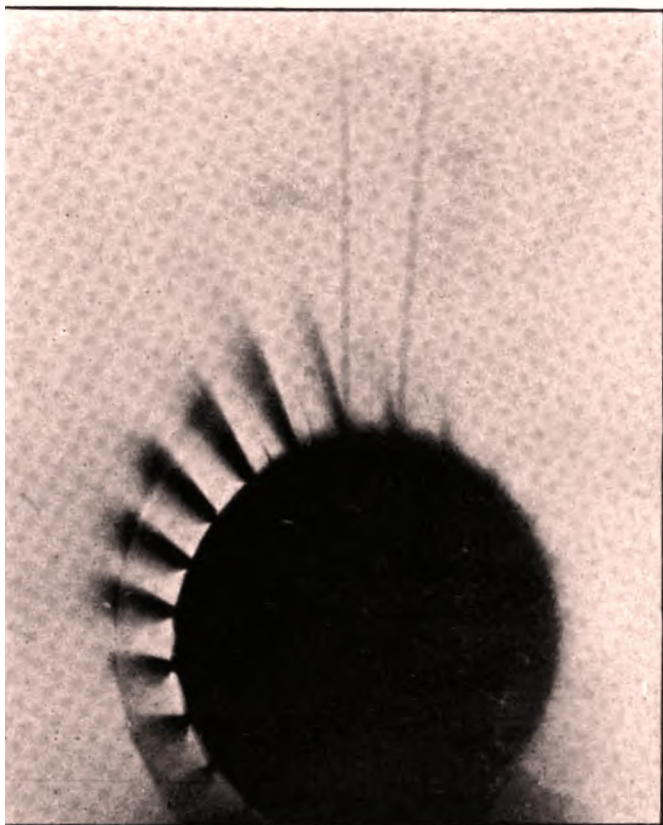


Fig. 3.

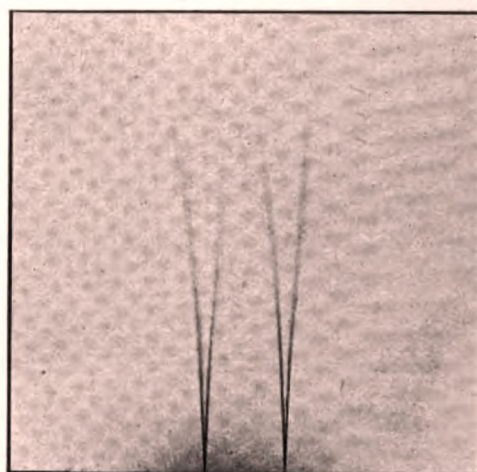


Fig. 4.

*Bulletin de la Société
internationale des électriciens*

Société internationale des électriciens

Sci 1480.168

KG 539

Harvard University



LIBRARY OF THE
DIVISION OF
ENGINEERING

MAR 30 1910

TRANSFERRED
TO
HARVARD COLLEGE
LIBRARY



BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ INTERNATIONALE

DES

ÉLECTRICIENS.

Société reconnue d'utilité publique par décret en date du 7 décembre 1886.

SIÈGE SOCIAL :
12 ET 14, RUE DE STAEL,
PARIS.



LABORATOIRE :
12 ET 14, RUE DE STAEL,
PARIS.

PRIX DE L'ABONNEMENT POUR UN AN (à partir de janvier) :
PARIS..... 25 FR. | DÉPARTEMENTS ET UNION POSTALE.. 27 FR.

Prix du Numéro : 2 fr. 50 c.

On s'abonne sans frais dans tous les Bureaux de poste.

PARIS,

GAUTHIER-VILLARS, IMPRIMEUR-LIBRAIRE
DU BUREAU DES LONGITUDES, DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE,
Quai des Grands-Augustins, 55.

1907

Ce Recueil paraît chaque mois.

La reproduction des Mémoires publiés dans le BULLETIN est subordonnée à l'autorisation du Comité et à l'assentiment des Auteurs. Les demandes de tirages à part doivent être faites en déposant les manuscrits.

ACCUMULATEUR^S

POUR

Allumage

Voitures électriques

Éclairage des habitations

HEINZ

Bureaux et Usine : 27, rue Cavé

TÉLÉPHONE
537.58

LEVALLOIS-PERRET

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS, QUAI DES GRANDS-AUGUSTINS, 55, A PARIS (6°).

Envoi franco dans toute l'Union postale contre mandat-poste ou valeur sur Paris.

RÉSISTANCE, INDUCTANCE ET CAPACITÉ

Par J. RODET.

Volume in-8 (23 × 14) de x-257 pages, avec 76 figures; 1905 7 fr.

ANNUAIRE

DE LA

SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ÉLECTRICIENS

POUR LA **PUBLICITÉ** S'ADRESSER A

M. CH. TESSIER

Agent administratif de la Société.

Paris. — 12 & 14, rue de Staël. — Paris.

TÉLÉPHONE N° 708-68.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS, 55, QUAI DES GRANDS-AUGUSTINS, A PARIS (VI°)

Envoi franco dans toute l'Union postale contre mandat de poste ou valeur sur Paris.

TRAITÉ ÉLÉMENTAIRE D'ÉLECTRICITÉ AVEC LES PRINCIPALES APPLICATIONS,

Par R. COLSON,
Capitaine du Génie.

Digitized by Google

BULLETIN
DE LA
SOCIÉTÉ INTERNATIONALE
DES
ÉLECTRICIENS.

PARIS. — IMPRIMERIE GAUTHIER-VILLARS.
39279 Quai des Grands-Augustins, 55.

BULLETIN
DE LA
SOCIÉTÉ INTERNATIONALE
DES
ÉLECTRICIENS.

LA SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ÉLECTRICIENS A ÉTÉ RECONNUE D'UTILITÉ PUBLIQUE LE 7 DÉCEMBRE 1886.

DEUXIÈME SÉRIE.
TOME VII. — ANNÉE 1907.



SIÈGE SOCIAL /
LABORATOIRE } 12 et 14, rue de Staël,
à Paris.

PARIS,
GAUTHIER-VILLARS, IMPRIMEUR-LIBRAIRE
DU BUREAU DES LONGITUDES. DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE,
Quai des Grands-Augustins, 55.

1907

~~Set 1480.169~~

KG 539

2 Feb 1912
HARVARD UNIVERSITY
DEPARTMENT OF ENGINEERING.
(1907)

JUN 20 1917
TRANSFERRED TO
HARVARD UNIVERSITY LIBRARY

BULLETIN
DE LA
SOCIÉTÉ INTERNATIONALE
DES
ÉLECTRICIENS.

SOMMAIRE.

Admissions, p. 6. — Don à l'École, p. 10. — Le développement de la traction électrique
(M. de Valbreuze), p. 11.

OUVRAGES OFFERTS, p. 76.

COMPTE RENDU

DE LA

RÉUNION ORDINAIRE MENSUELLE

du mercredi 9 janvier 1907 ⁽¹⁾.

PRÉSIDENCE DE M. MAURICE LEBLANC.

La séance est ouverte à 8^h35^m du soir et le procès-verbal de la dernière réunion mensuelle est adopté.

Il est donné connaissance d'un Don pour l'École supérieure,

⁽¹⁾ La Société n'est pas solidaire des opinions émises par ses membres dans les discussions, ni responsable des Notes ou Mémoires publiés dans le *Bulletin*.

des Ouvrages offerts à la Bibliothèque (voir p. 76), et des demandes d'admission suivantes :

- MM.
- Amoudruz** (Arthur), *Bureau de Représentation industrielle*, 24, rue d'Armaillé, à Paris. — Présenté par MM. Leblanc et Armagnat.
- Aussedat** (Louis-Auguste-Marie), Ingénieur des Arts et Manufactures, Directeur général de la *Société des Forges du Fier*, 12, rue Royale, Annecy. — Présenté par MM. Dusaugé et Jenny.
- Barillot** (Albert-Alexandre-René), Élève à l'*École supérieure d'Électricité*, 48, rue Jacob, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Barraud** (Émile-Alphonse), Ingénieur aux *Mines de Sentein*, à Sentein (Ariège). — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Barris** (Pierre-Manuel-Guillaume), Administrateur, *Sud-Électrique, Société avignonnaise d'Électricité, Société niçoise d'Électricité*, 7, rue Rosa-Bonheur, à Paris. — Présenté par MM. Bernheim et Cordier.
- Baudran** (Émile-Paul-Édouard), Capitaine du Génie, Professeur à l'École d'application de l'Artillerie et du Génie, à Fontainebleau. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Belliol** (Eugène-Jean), Directeur du Service commercial, *Maison Belliol et Reiss, Matériel électrique breveté*, Membre du Conseil de surveillance, *Manufacture de porcelaine Pillivuy et C^{ie}*, 30, rue des Bons-Enfants, à Paris. — Présenté par MM. Cance et Lestrade.
- Berenger** (Adrien-Fernand), 59, chemin d'Harly à Saint-Quentin (Aisne). — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Berrier** (Maurice), Élève à l'*École supérieure d'Électricité*, 23, rue Saint-Vincent-de-Paul, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Bertrand de Broussillon** (Henry-Xavier), Élève à l'*École supérieure d'Électricité*, 15, rue de Tascher, au Mans (Sarthe). — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Bienvenu** (René-Édouard-Honoré), Ingénieur du bureau technique de la *Maison Rousselle et Tournaire*, 8, rue de Constantinople, à Paris. — Présenté par MM. Boutin et Guilbert.
- Blasberg** (Eugène), Représentant de commerce à Fribourg, Grand-Duché de Bade (Allemagne). — Présenté par MM. Leblanc et Armagnat.
- Bligny** (Joseph), Administrateur de la *Société Electro-Dynamique*, Concessionnaire ou Directeur des *Secteurs électriques de Châteauneuf-sur-Loire, Villaines-la-Juhel, Moulins-la-Marche, Méle-sur-Sarthe*, 6, rue Lesueur, à Paris. — Présenté par MM. Leblanc et Armagnat.
- Briaudet** (Albert), Élève à l'*École supérieure d'Électricité*, 88, rue de Fontenay, à Vincennes. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Brouard** (Jean-Louis-Jules), Bureau d'études des *Établissements d'électricité Schneider et C^{ie}*, avenue de la Gare, à Champagne-sur-Seine. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Brun** (Daniel-Joseph-Alain-Raoul), Ingénieur, *Société anonyme Westinghouse*, 3, rue Saint-Roch, au Havre. — Présenté par MM. Leblanc et Vincent.
- Calmettes** (Gabriel-Émile), Directeur de la *Compagnie générale de Lumière et Traction*, 28, rue de Turin, à Paris. — Présenté par MM. Leblanc et Armagnat.

MM.

- Cannic** (Alexis), Capitaine d'Artillerie coloniale, 55, boulevard de Vaugirard, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Cellerier** (Jean-Fernand), Capitaine, Section Technique d'Artillerie, *Atelier de précision*, 1, place Saint-Thomas-d'Aquin, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Illovici.
- Chapelle** (Paul-Alphonse-Jules), Service du contrôle *Ouest-Lumière*, 7, rue des Carrières, à Suresnes. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Chelminski** (Louis-Albin), Ingénieur-Électricien diplômé de l'Institut électrochimique de Saint-Pétersbourg et de l'*École supérieure d'Électricité*, 18, place du Marché, à Bruxelles (Belgique). — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Compagnie électrique de la Loire**, 14, rue du Treuil, à Saint-Étienne. — Présenté par MM. Leblanc et Armagnat.
- Comte** (Marcel-Joseph-Georges), Volontaire aux *Établissements Siemens-Schuckert*, 15/o Peser Henleinstrasse, à Nuremberg. — Présenté par MM. Leblanc et Armagnat.
- Couade** (Maurice), Capitaine d'Artillerie, Membre de la Commission d'études pratiques d'Artillerie de côte, à Toulon (Var). — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Dain** (Henri), 5, rue de Pérignon, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Darbois** (Jean-Marie-Hippolyte), Ingénieur civil des Mines, Élève à l'*École supérieure d'Électricité*, 15, avenue du Lycée, à Bourg-la-Roie. — Présenté par MM. Leblanc et Chaumat.
- Delort** (Henry), Enseigne de Vaisseau, 9, rue de Monceau, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Desvignes** (Jean-Emile), Ingénieur à la *Compagnie des Chemins de fer à voie étroite de Saint-Etienne, Firminy, Rive-de-Gier et extension*, 7, place Badouillère, à Saint-Etienne (Loire). — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Drouët** (Louis-Jules), Élève ingénieur des Télégraphes, 63, rue Vaneau, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Durand** (Edmond-Jean-Louis), Électricien à l'*Usine de câbles de la Société industrielle des Téléphones*, 14, quai de Seine, à Bezons. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Esbran** (Lucien-Fernand), Ingénieur, *Société anonyme Westinghouse*, 7, rue Ancel, au Havre (Seine-Inférieure). — Présenté par MM. Leblanc et Vincent.
- Fraget** (Alphonse-Jean), Ingénieur, Directeur des *Établissements de la Compagnie des Compteurs*, 20, rue de Tournon, à Paris. — Présenté par MM. Leblanc et Armagnat.
- Fournier** (Georges), Ingénieur en chef des installations de tramways de la *Compagnie française des procédés Thomson-Houston*, 11^{bis}, rue Lauriston, à Paris. — Présenté par MM. Gratzmuller et Rechniewski.
- Fritz** (Hans-Elmar), Ingénieur de la *Société anonyme Westinghouse*, 18, rue Gustave-Cazavan, au Havre (Seine-Inférieure). — Présenté par MM. Leblanc et Vincent.
- Galibert** (Ernest-Marius-Samuel), Élève à l'*École supérieure d'Électricité*, 54, rue des Saints-Pères, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Gallay** (Emile-Marie), *Société électrique de Saint-Junien*, 33, rue Brunel, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

MM.

- Gaucharaud** (Alfred-Antoine), Ingénieur électricien, 227, rue de Vaugirard, à Paris.
— Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Giles** (Georges), Directeur et Administrateur de la *Société des Condensateurs*, à Fribourg, Administrateur de la *Société des Procédés Béciqueul*, à Fribourg (Suisse).
— Présenté par MM. Leblanc et Eschwège.
- Giraud** (Maurice), Élève à l'*École supérieure d'Électricité*, 64, rue des Saints-Pères, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Giraud-Teulon** (Marc-Antoine-Félix-Emile), Licencié ès Sciences, 2, rue Dutot, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Gondard** (Georges-Pierre), 7, rue Le Verrier, à Paris. — Présenté par MM. Gin et Petitalot.
- Guinant** (Emile), Attaché au *Laboratoire central d'Électricité*, 9, rue Coquillière, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Heinz** (Alfred), Fabricant d'accumulateurs électriques à Levallois-Perret (Seine). — Présenté par MM. Leblanc et Armagnat.
- Himmelsbach Frères**, *Établissements d'imprégnation de bois*, à Fribourg (Suisse). — Présenté par M. Leblanc et Armagnat.
- Jacob** (Georges), Directeur de la *Société régionale d'Électricité de Saint-Omer*, *Station centrale de Longuenesse*, à Longuenesse par Saint-Omer (Pas-de-Calais). — Présenté par MM. Larnaud et Armagnat.
- Kesseldorfer** (Wilhelm), Élève à l'*École supérieure d'Électricité*, 43, rue de l'Abbé-Grégoire, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Kupper** (Albert), Ingénieur à l'*Énergie électrique du Sud-Ouest*, 12, rue des Hospitalières-Saint-Gervais, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Bourguignon.
- Laporte** (Georges), Directeur du réseau des Alpes-Maritimes à la *Société Énergie électrique du littoral méditerranéen*, 21, boulevard Dubouchage, à Nice (Alpes-Maritimes). — Présenté par MM. Janet et David.
- Lautré** (Jean-Roger), Élève à l'*École supérieure d'Électricité*, 207, boulevard Raspail, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Lipski** (Sigismond), Ingénieur électricien de la *Société des Forces motrices du lac Bleu*, villa Jeanne-d'Arc, à Bagnères-de-Bigorre (Hautes-Pyrénées). — Présenté par MM. Leblanc et Brylinski.
- Madeline** (Maurice), Capitaine d'artillerie au Ministère de la guerre, 14, rue Rosa-Bonheur, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Maiuri** (Guy), Ingénieur de la *Société anonyme Westinghouse*, au Havre (Seine-Inférieure). — Présenté par MM. Leblanc et Vincent.
- Manaut** (Georges-André-Germeuil), Élève à l'*École supérieure d'Électricité*, 9, rue Mogador, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Marcandier** (Marcel - Louis - Alexandre), *Gesellschaft für elektrische Industrie*, Sofienstrasse, 95, à Karlsruhe (Allemagne). — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Marget** (Edmond-Marie-Adolphe), Capitaine d'Artillerie coloniale, 31, rue de la Quintinie, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Martiny** (Joseph-Albert), Ingénieur des services électriques de la *Société du Gaz et de l'Électricité de Nice*, 4, rue Deloye, à Nice (Alpes-Maritimes). — Présenté par MM. Cordier et de Marchena.

MM.

Ménage (Marcel), Ingénieur à la *Compagnie générale d'Électricité de Creil*, 108, avenue de Villiers, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Mercier (Ernest-Frédéric), Ingénieur de la Marine, Direction centrale des Constructions navales, Ministère de la Marine, 3, rue Le Goff, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Maugas.

Milon (Henri-Charles-Cornélius), Ingénieur des Postes et Télégraphes, à Lille (Nord). — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Miramont (Pierre), Ingénieur de la *Compagnie française des Câbles télégraphiques*, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Orain (André), Élève à l'*École supérieure d'Électricité*, 7 bis, rue Laromiguière, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Pailleret (Jean-Joseph), Ingénieur des Constructions civiles, 74, rue de Sèvres, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Paulmier (Abel-Marie-Charles), Élève à l'*École supérieure d'Électricité*, 3 bis, Grande Rue, à Montrouge (Seine). — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Perrin (André-Georges-Louis), Élève à l'*École supérieure d'Électricité*, 80, rue de Grenelle, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Perrin (Marie-Jacques), Lieutenant d'Artillerie au 13^e régiment, 24, rue de Staël, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Pesex (Lucien), Ingénieur, 12, rue Manuel, à Lille (Nord). — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Picot (Pierre-Marie-René), Licencié ès sciences, 20, avenue Friedland, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Ravut (Camille-Louis), Élève ingénieur des Postes et Télégraphes, 66, boulevard Pasteur, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Raynal (Léon-Jean-Marius), Ingénieur des Télégraphes, 2, rue Chevert, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Reclus (Armand), 91, rue de Montceau, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Rethy (Oscar), Ingénieur de la *Société anonyme Westinghouse*, au Havre (Seine-Inférieure). — Présenté par MM. Leblanc et Vincent.

Robin (Maurice), Capitaine d'Artillerie, 5, rue Foullon, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Rollin (Louis-Paul-Jacques-Henri), Élève à l'*École supérieure d'Électricité*, 119, rue de Lille, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Rossignol (Marcel), Ingénieur à la *Société l'Éclairage électrique*, 3, rue des Pastoureaux, à Orléans (Loiret). — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Rousseau (Bertrand-Georges), Élève à l'*École supérieure d'Électricité*, 7, rue Castex, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Roussel (Anatole-Alphonse), Lieutenant d'Artillerie, Professeur adjoint à l'École d'Instruction des équipes photo-électriques du littoral, au Havre (Seine-Inférieure). — Présenté par M. Janet et Chaumat.

Rouyer (Jean), Chef du service des Essais à la *Société anonyme Westinghouse*, au Havre (Seine-Inférieure). — Présenté par MM. Leblanc et Vincent.

Schuhler (Paul-André), Ingénieur des Arts et Manufactures, Chef de l'exploitation, adjoint du *Secteur Edison*, Secrétaire technique de la *Société des Ingénieurs civils*, 7, avenue Trudaine, à Paris. — Présenté par MM. Brylinski et F. Meyer.

MM.

Siegfried (Jacques), Président du *Secteur électrique de Clichy*, 20, rue des Capucines, à Paris. — Présenté par MM. Leblanc et Armagnat.

Société française Erlikon, 85, rue Lafayette, à Paris. — Présenté par MM. Leblanc et Armagnat.

Sudria (Joachim), Ingénieur électricien, Professeur à l'École pratique d'Électricité industrielle et à l'École spéciale des Travaux publics, 26, rue de Staël, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Thomé (Georges), Élève à l'École supérieure d'Électricité, 69, boulevard Héloïse, à Argenteuil (Seine-et-Oise). — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Unné (Georges), Ingénieur de la *Société anonyme Westinghouse*, 2, boulevard Carnot, au Havre (Seine-Inférieure). — Présenté par MM. Leblanc et Vincent.

Véchembre (Maurice), Ingénieur E. C. P. et E. S. E., Ingénieur à l'Énergie électrique du Sud-Ouest, à Périgueux (Dordogne). — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Viguerie (Charles), Ingénieur au *Comptoir général d'Électricité et d'Application industrielle*, 127, rue Lamarck, à Paris. — Présenté par MM. Bergeron et Delaporte.

Ces candidats sont élus membres titulaires de la Société internationale des Électriciens.

M. le PRÉSIDENT fait part du décès de M. *Saumon* et en exprime les regrets de la Société.

Il adresse des remerciements à MM. Jean et Bouchon qui ont fait don à l'École supérieure de 1500 lampes pour rhéostats.

L'ordre du jour appelle les Communications techniques.

M. le PRÉSIDENT excuse l'absence de M. Brunswick qui, indisposé, se trouve empêché de prendre la parole, au cours de cette séance, sur *les signes conventionnels pour les schémas d'installations électriques*.

LE DÉVELOPPEMENT DE LA TRACTION ÉLECTRIQUE.

M. DE VALBREUZE. — « La quatrième Section du Comité, dont j'ai l'honneur de faire partie, m'a prié de vous parler du développement de la traction électrique dans ces dernières années. J'ai accepté cette lourde tâche parce que, n'étant ni inventeur, ni constructeur, ni employeur de matériel de traction électrique, j'espère pouvoir vous faire sur ce sujet un exposé tout à fait général et absolument impartial. Dans cet exposé, je me limiterai strictement à une étude d'ensemble, et ne pénétrerai dans aucun détail particulier : j'espère qu'à la suite de ma Communication, tous ceux de nos collègues qu'intéresse directement la question voudront bien nous exprimer leur façon de voir ou nous faire part des résultats auxquels les a conduits leur expérience.

HISTORIQUE.

» Vous connaissez tous, Messieurs, le prodigieux développement qu'a pris l'application de la traction électrique aux tramways urbains. Le nombre de réseaux de tramways électriques augmente de jour en jour et les services qu'ils rendent sont inappréciables.

» La solution adoptée est partout la même et, à part la puissance des moteurs qui diffère parfois, on peut dire qu'en principe toutes les installations sont identiques : l'énergie électrique est fournie, sous forme de courant continu à 500 ou 600 volts, à une ligne d'alimentation aérienne, souterraine, ou fractionnée en plots de contact ; les voitures motrices reçoivent le courant par l'intermédiaire d'organes frotteurs, et le retour s'effectue par les rails de roulement.

» Le succès obtenu par les tramways électriques fit songer à des applications plus étendues de ce système de traction. D'une part, le besoin sans cesse croissant de moyens de transport dans les villes rendait nécessaire la construction ou l'extension des chemins de

fer métropolitains, aériens ou souterrains, pour lesquels la traction électrique était tout indiquée; d'autre part, on songeait à établir de nouvelles jonctions interurbaines qui, pour certains réseaux particuliers, se prêtaient mal à l'exploitation par locomotives à vapeur; enfin, on sentait la nécessité d'électrifier certaines portions de quelques grandes lignes de chemins de fer établies en tunnel ou en souterrain. Ainsi naquirent les chemins de fer métropolitains électriques de Londres, de Paris, de Berlin, de New-York; la voie électrique du tunnel de Baltimore, la ligne reliant les Invalides à Versailles, et celle qui joint la gare du quai d'Orsay à celle d'Austerlitz, actuellement prolongée jusqu'à Juvisy.

» Le principe du système employé dans ces installations était le même que pour les tramways : toutefois il s'agissait d'alimenter ensemble non plus deux moteurs de 25 à 50 chevaux, mais quatre ou six moteurs de 100 à 200 chevaux : en outre le rayon d'action n'était plus limité à 8 km ou 10 km, mais atteignait une vingtaine de kilomètres.

» Pour transmettre et recueillir les courants nécessaires, dont l'intensité, sous 550 volts, atteignait 1800 ampères aux démarrages, on remplaça le fil d'alimentation par des conducteurs en barres ou rails de forte section et le trôlet à roulette par de larges frotteurs à ressorts; généralement, le conducteur amenant le courant fut constitué par un troisième rail, isolé des rails de roulement et placé parallèlement à eux. Pour éviter de trop fortes chutes de tension dans les conducteurs, on multiplia les points d'alimentation et l'on arriva au système général suivant de traction par courant continu :

» 1^o Production, dans une usine génératrice centrale, de l'énergie électrique sous forme de courants alternatifs à haute tension;

» 2^o Transmission de l'énergie électrique à plusieurs sous-stations où les courants alternatifs à haute tension sont convertis en courant continu à 550 volts, au moyen de groupes moteurs-générateurs ou, plus fréquemment, au moyen de transformateurs et de commutatrices;

» 3^o Alimentation du troisième rail par ces sous-stations, distantes de 4 km à 12 km les unes des autres suivant les cas.

» Ces installations de traction électrique sur de courts tronçons n'étaient pas encore achevées que déjà se posait le problème de l'électrification des grandes voies ferrées. Il est superflu d'énumérer les avantages que présente, dans beaucoup de cas, la traction électrique, tant au point de vue du confort des voyageurs qu'au point de vue de l'économie et des facilités d'exploitation, ainsi que de la propreté et de l'économie d'entretien du matériel roulant. Il y a un autre avantage, encore plus important, qu'offre la traction électrique : c'est la possibilité d'utiliser, pour la propulsion des trains, la force motrice naturelle des chutes d'eau, et de n'être plus tributaire des mines de charbon de l'étranger. Cet avantage a été nettement senti par le gouvernement italien qui, dès 1900, entraîna résolument dans la voie de l'électrification des chemins de fer : il s'agissait, pour commencer, d'équiper dans le nord de l'Italie deux lignes de plus de 100 km de longueur.

» Le problème fut abordé sous deux faces différentes pour ces deux lignes italiennes : l'une d'elles fut équipée avec le système à courant continu, présentant, de par l'expérience qu'on en avait, toute certitude et toute garantie de fonctionnement; l'autre fut équipée avec le système triphasé, étudié très complètement par la Maison Ganz et C^o, et présentant une incontestable nouveauté, bien que le tramway de Lugano et le chemin de fer électrique de Burgdorf à Thoune, installés par la Maison Brown-Boveri, fussent exploités au moyen de courants triphasés. Le système présente l'inconvénient d'exiger, pour les longues lignes, à courant continu, un nombre considérable de sous-stations, contenant des machines en rotation et nécessitant une surveillance permanente. Les frais d'installation, ainsi que les frais d'entretien et de surveillance de ces sous-stations, sont très élevés, et l'exploitation ne peut être rémunératrice que si le trafic est très intense, c'est-à-dire si la densité des trains est forte.

» Le système triphasé, au contraire, permet l'emploi d'une tension élevée pour l'alimentation des automotrices et des locomotives (3000 volts), et le remplacement des sous-stations par de simples postes de transformateurs statiques, relativement espacés, exigeant très peu de surveillance. Les moteurs asynchrones triphasés présentent, en outre, l'avantage de ne pas posséder de collecteur et d'être très robustes.

» Les installations des deux lignes, reliant l'une Milan, Gallarate et Varèze, et l'autre Lecco, Sondrio, Chiavenna par la vallée de la Valteline, ont été décrites ici même et ont fait en 1903 l'objet de discussions intéressantes qui sont sans doute encore présentes à votre mémoire.

» Le bon fonctionnement de la ligne de la Valteline prouva la possibilité et la facilité d'emploi des courants alternatifs à haute tension sur les voies ferrées. D'autre part, en 1902 et 1903, l'Allgemeine Electricitäts Gesellschaft et Siemens et Halske firent, sur la ligne militaire de Berlin à Zossen, des expériences célèbres dont le but était l'obtention de grandes vitesses. Chaque automotrice était alimentée au moyen de courants triphasés à 10 000 volts, dont la tension était abaissée à 3 000 volts par un transformateur placé sur la voiture : c'est sous cette dernière tension que fonctionnaient les moteurs triphasés entraînant les essieux. Après ces expériences, deux résultats importants étaient acquis : d'une part, la possibilité d'obtenir un bon fonctionnement des organes de prise de courant avec de hautes tensions et des vitesses de déplacement extrêmement élevées ; d'autre part, la possibilité de recueillir, avec des archets frottant sur les fils de ligne, des intensités de courant correspondant à une puissance de 3 000 kilowatts.

» Comme vous le savez, le système triphasé exige trois conducteurs pour l'alimentation des voitures motrices, soit au moins deux fils aériens, avec les rails de roulement comme troisième conducteur. L'équipement électrique du système est évidemment plus compliqué que si l'on pouvait employer, non des courants triphasés, mais du courant alternatif simple, ou courant monophasé, amené par un seul fil aérien et utilisant les rails comme conducteur de retour. On entrevoyait donc, *a priori*, de sensibles avantages dans l'emploi de courant monophasé : la seule difficulté était d'établir un bon moteur monophasé, car, malgré certains artifices proposés par différents ingénieurs, il ne fallait pas songer au moteur d'induction monophasé, qui est incapable d'exercer un couple de démarrage.

» On savait bien que le moteur série ordinaire, muni de pôles feuilletés, peut fonctionner sur du courant monophasé ; mais, dès

que la puissance atteint quelques chevaux, la commutation devient très mauvaise. Cependant un certain nombre d'ingénieurs s'acharnaient à l'étude de ces moteurs pour améliorer leur commutation. Dès 1897, M. Lamme, ingénieur à la Compagnie Westinghouse, faisait construire deux moteurs de 40 chevaux à 200 volts et 60 périodes, munis chacun d'un dispositif compensateur pour améliorer la commutation ; en 1902, il établissait un moteur de 100 chevaux à 16,6 périodes et un moteur de 300 chevaux à 25 périodes. En 1903, la Compagnie Westinghouse adoptait un modèle définitif de moteurs série monophasés, de puissances comprises entre 150 et 500 chevaux : ces moteurs sont tous établis pour 250 volts et 25 périodes. A côté de la Compagnie Westinghouse, la General Electric Co travaillait aussi à mettre au point un moteur série monophasé. D'autre part, sur le continent, l'Allgemeine Elektrizitäts Gesellschaft et la Compagnie française Thomson-Houston mettaient au point un moteur dit à *répulsion compensé*, tandis que les Ateliers d'Oerlikon et la Société Siemens-Schuckert apportaient au moteur série des perfectionnements intéressants. La traction par courant alternatif monophasé devenait alors possible, et ses applications se développèrent avec une grande rapidité sur plusieurs voies ferrées. Les nouveaux moteurs présentaient l'avantage de pouvoir fonctionner également sur les réseaux de tramways à courant continu, et l'on put raccorder à ces réseaux les jonctions interurbaines.

» Le système monophasé, qui, dans beaucoup de cas, peut rendre d'innombrables services, sembla un instant devoir être considéré comme la panacée universelle. Cependant on s'avisa que, dans des cas particuliers, où l'on n'a pas besoin de faire subir au courant de travail des transformations de tension, on a avantage à employer, au lieu de courant alternatif, du courant continu à tension relativement élevée. Les progrès faits, au point de vue de la commutation, dans la construction des machines et des moteurs électriques permettaient d'envisager la production et l'utilisation directe d'une tension de 1500 volts, et, depuis peu, quelques installations, mises en exploitation ou en construction, sont prévues pour fonctionner avec du courant continu à haute tension directement utilisé dans les moteurs des automotrices.

» Après ce rapide historique, indispensable pour bien saisir le développement de la traction électrique, je vais étudier, dans leurs grandes lignes, les principaux systèmes employés, en décrivant quelques installations existantes ; ensuite j'énumérerai ce qui semble, d'une façon générale, constituer les avantages et les inconvénients de chaque système particulier ; enfin, je parlerai des conditions générales d'emploi de chacun d'eux.

» Pour suivre à peu près l'ordre chronologique, j'étudierai d'abord le système à courant continu à moyenne tension, puis le système triphasé, puis le système monophasé, et enfin le système à courant continu à haute tension.

I. — SYSTÈME A COURANT CONTINU A MOYENNE TENSION ⁽¹⁾.

» Je dirai peu de chose de ce système, connu maintenant dans ses moindres détails par suite des nombreuses applications dont il a fait l'objet. Je signalerai seulement les tendances ou les modifications dont son emploi fait l'objet.

» *Sous-stations.* — Pour l'application du système à courant continu à 500-600 volts aux voies ferrées d'une certaine longueur, il faut, comme nous l'avons vu, répartir le long de la voie un grand nombre de sous-stations, alimentées par une même génératrice centrale. Généralement, ces sous-stations sont distantes d'environ 5 km à 6 km. Sur la ligne Milan-Gallarate-Varèze, longue de 130 km, l'intervalle entre deux sous-stations voisines est d'une quinzaine de kilomètres : c'est là un maximum.

» *Emploi des accumulateurs dans les sous-stations.* — Une question importante se pose, celle de savoir s'il faut, ou non, employer des batteries d'accumulateurs fonctionnant comme tampon. Si l'on emploie, dans une sous-station, une batterie-tampon, il suffit que la puissance des machines installées soit égale à la puissance moyenne qu'est appelée à fournir cette sous-station, et les machines travaillent toujours à peu près à pleine charge. Si l'on n'emploie pas

(¹) Le mot *moyenne tension* est employé pour désigner les tensions de 500 à 800 volts ordinairement employées.

de batterie-tampon, il faut que les machines installées présentent une puissance presque égale à la puissance maxima éventuelle correspondant au cas le plus défavorable, et elles travaillent normalement bien au-dessous de leur pleine charge. Les fluctuations de charge qui se produisent à l'usine génératrice exigent, de même, des machines plus puissantes, travaillant dans de moins bonnes conditions; en outre, les feeders primaires doivent être prévus plus largement, pour que la chute de tension ne soit pas exagérée lors des forts débits. Par contre, cette solution permet d'éviter les frais considérables d'amortissement et d'entretien d'une batterie.

» Outre la question d'égalisation de la charge, il faut noter que la présence d'une batterie suffisamment puissante dans une sous-station donne une plus grande sécurité en permettant de continuer à assurer le service en cas d'arrêt momentané ⁽¹⁾ des machines génératrices ou transformatrices, ou en cas d'interruption de courte durée des lignes primaires.

» Sur la ligne Milan-Gallarate-Varèze, l'équipement primitif ne comportait pas de batteries d'accumulateurs, et l'on s'est vu obligé d'en ajouter depuis. En Angleterre, il y a une tendance marquée à la suppression des batteries et, à l'heure actuelle, aucune sous-station des différents réseaux métropolitains électriques n'en est munie. En France, la ligne des Invalides à Versailles a toujours fonctionné parfaitement sans batterie, bien que, par suite de la faible densité des trains sur cette ligne, les fluctuations de charge soient très importantes. Le Métropolitain, au contraire, emploie de puissantes batteries pour uniformiser la charge des machines.

» Au Métropolitain souterrain de New-York, on n'a pas installé d'accumulateurs; on y aura recours plus tard si le besoin s'en fait sentir. Cependant, en Amérique, on apprécie généralement les services que rendent les batteries-tampons. Dans les installations du New-York Central Railway, chacune des huit sous-stations contiendra une batterie d'accumulateurs de 300 à 4000 ampères-heure au régime de décharge en une heure. D'après les prévisions, ces batteries pourront assurer à elles seules, pendant une heure, le service de la ligne.

(1) C'est-à-dire d'environ 15 à 30 minutes.

» *Moteurs.* — Les trains qui circulent sur les voies ferrées sont généralement lourds; la puissance des moteurs destinés à assurer leur propulsion doit donc être élevée. Or, l'espace dont on dispose entre les essieux, ou sur chaque essieu, pour loger un moteur électrique est relativement restreint et, à moins d'artifices particuliers, cela limite à 250 chevaux environ la puissance de chaque moteur ⁽¹⁾. On est conduit alors à employer un grand nombre d'essieux moteurs.

» Lorsque la voie doit être exploitée avec un matériel nouveau, la solution relativement simple consiste à placer des moteurs sur les essieux de plusieurs voitures du train, d'après le système dit à *unités multiples*, qui offre l'avantage d'utiliser comme poids adhérent une forte proportion du poids total du train et donne de grandes facilités pour le service d'exploitation d'une ligne. Quand, au contraire, on doit employer comme matériel roulant les wagons déjà existants, il faut recourir à l'emploi de locomotives et, à moins de donner à celles-ci un poids très élevé et un grand nombre d'essieux, ou d'employer des artifices particuliers, on éprouve quelques difficultés dans leur établissement.

» A ce propos, je signalerai la solution nouvelle et intéressante adoptée pour l'exploitation de la ligne électrique du New-Yorker Central and Hudson River Railroad, ligne de trafic très intense, qui est équipée depuis 1905, sur une longueur de 90 km environ, avec le système à courant continu à 600 volts. La vue en coupe d'une locomotive est représentée par la figure 1. La machine est supportée par six essieux dont les quatre intérieurs sont moteurs et les deux extrêmes sont porteurs. Chaque essieu moteur porte, directement calé sur lui, l'induit d'un moteur série bipolaire : les inducteurs des quatre moteurs sont placés horizontalement en série les uns

(1) A propos des moteurs, je signale en passant la tendance qui existe actuellement à employer des pôles de commutation dans les moteurs de traction. D'après des expériences faites en Amérique par la Cie Electro-Dynamic, ce mode de construction permet d'obtenir les avantages suivants, par rapport au mode de construction normal : commutation parfaite à toutes vitesses ; plus grande flexibilité dans le réglage de la vitesse, puisqu'on peut, sans inconvénient, faire varier le flux principal ; plus grand couple par ampère à égalité de poids du moteur ; puissance plus grande pour des dimensions données.

derrière les autres et forment un système magnétique complet fermé par une carcasse unique. Les quatre essieux sont donc accouplés magnétiquement entre eux. Tout le système inducteur est absolument indépendant des induits calés directement sur les essieux : les masses polaires sont presque plates et à peine entaillées en leur milieu en forme d'arc de cercle, de sorte que chaque essieu, avec son induit, ses roues et ses boîtes à graisse, peut se déplacer verticalement par rapport aux inducteurs fixés au châssis de la locomotive et, par conséquent, suspendus par les ressorts de la machine. Pour les visites ou les réparations, on peut sortir par le bas un ou

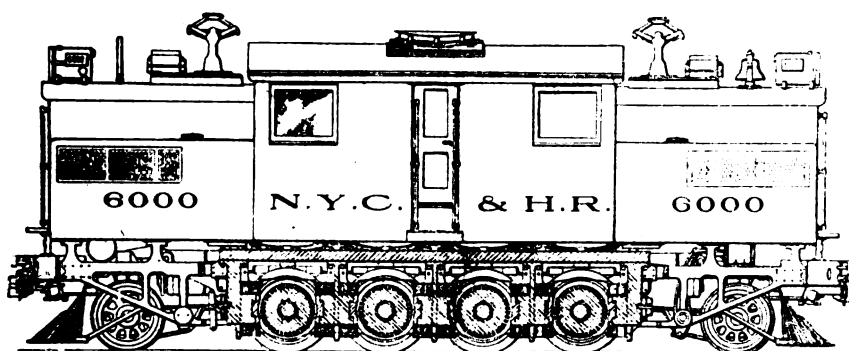


Fig. 1. — Locomotive du New-York Central Ry.

plusieurs essieux complets sans toucher aux inducteurs. Afin de compenser les inégalités d'entrefer des différents moteurs, ou les inégalités de diamètre des roues, on a prévu, entre chaque groupe de deux inducteurs, un cadre reliant les pôles à la culasse et par lequel peuvent passer 40 pour 100 environ des lignes de force du flux principal : chaque moteur peut donc, dans certaines limites, être indépendant des voisins. Les porte-balais d'un moteur sont fixés à l'une des boîtes à graisse correspondantes : ils prennent part, comme l'induit, à tous les mouvements de l'essieu. Pour protéger l'induit et les bobines inductrices contre l'introduction de saletés ou de corps étrangers, on a fixé de pôle à pôle des plaques de laiton.

» Grâce à ce mode de construction tout particulier, on a pu établir des moteurs dont la puissance normale individuelle est de

550 chevaux⁽¹⁾ et qui peuvent absorber 1000 ampères sous 650 volts ; la puissance normale d'une locomotive est donc de 2200 chevaux et sa puissance maxima atteint 3000 chevaux : son poids est de 95 tonnes, dont 69 tonnes (ou 70 pour 100) de poids adhérent sur les essieux moteurs ; l'effort de traction exercé peut atteindre 14000 kg. La vitesse à vide est de 128 km à l'heure, et la vitesse avec un poids total de 500 tonnes est de 97 km à l'heure ; le diamètre des roues est de 1,12 m ; l'accélération, avec un train pesant au total 450 tonnes, est de 24 cm par seconde par seconde.

» Les résultats obtenus avec ces locomotives semblent satisfaisants. Les différentes vitesses sont obtenues, comme d'habitude, par trois couplages série-parallèle des quatre moteurs. Outre l'absence de protection des organes des moteurs, dont les faces latérales sont ouvertes, on peut reprocher à ce système l'absence de suspension des induits, dont les isolants et les collecteurs se trouvent évidemment, de ce fait, dans de mauvaises conditions de conservation. A ce propos, il serait très intéressant d'étudier en détail les différents systèmes de suspension des moteurs et de commande des roues motrices, avec et sans engrenages, et j'exprime le souhait que, parmi nos collègues, l'un de ceux qui ont pu faire des expériences complètes sur ce sujet veuille bien nous en faire connaître les résultats.

» *Contrôleurs.* — On peut voir qu'une locomotive, comme celle du New-York Central Railroad, remorquant un train de 500 tonnes au

(1) Il ne faut pas perdre de vue que, conformément aux habitudes américaines, on entend par puissance d'un moteur électrique de traction la puissance que celui-ci est capable de fournir, en présentant, au bout d'une heure, un échauffement maximum donné (75° généralement). Si l'on compare cette puissance à la puissance que fournit le moteur en présentant le même échauffement au bout d'un service ininterrompu de 10 heures, c'est-à-dire pratiquement en service continu, on trouve, pour le rapport des deux puissances ainsi définies, une valeur un peu supérieure à 2,5 : un moteur de traction dit de 550 chevaux est donc, en réalité, un moteur qui, en fonctionnement ininterrompu, présenterait une puissance normale de 200 chevaux environ pour l'échauffement donné (75°).

Un projet de réglementation des moteurs à courant continu, établi par MM. Blondel, Kapp, Rasch, d'Hoop, Macleskie, Swinburne et Wyssling, définit d'une façon précise la spécification des moteurs de traction, et il est à souhaiter que cette réglementation soit adoptée d'une façon générale.

total, absorbe au démarrage une intensité de courant de 4200 ampères sous 600 volts. Il est bien évident que l'on ne peut pas songer à faire passer, dans un contrôleur analogue aux contrôleurs de tramways et manœuvré à la main, des intensités de courant pareilles. On a été conduit, pour cette raison, à remplacer chaque contrôleur principal par une série d'interrupteurs spéciaux à contact, nommés *contacteurs*, qui sont manœuvrés par des dispositifs électromagnétiques ou électropneumatiques. Dans le premier cas, la commande des contacteurs est effectuée par des électro-aimants qu'excite, à la volonté du mécanicien, un courant local dérivé du circuit principal. Dans le second cas, les contacteurs sont entraînés par les pistons de cylindres à air comprimé dont les valves sont manœuvrées par des petits solénoïdes; ceux-ci sont excités, à la volonté du mécanicien, par un courant local fourni par une petite batterie d'accumulateurs de sept éléments ⁽¹⁾. Dans l'un et l'autre cas, le rôle du mécanicien se borne à manœuvrer un petit contrôleur ⁽²⁾, établi pour très de faibles intensités, et dont la fonction est d'envoyer aux électro-aimants des contacteurs électromagnétiques, ou aux valves des contacteurs électropneumatiques, le courant local qui détermine leur fonctionnement ⁽³⁾. Ce dispositif est généralement complété par un limiteur d'intensité, appareil qui empêche automatiquement le passage du système à une vitesse supérieure lorsque l'intensité absorbée par les moteurs excède une valeur déterminée. On peut réaliser ainsi ce qu'on appelle le *démarrage automatique*, le mécanicien plaçant du premier coup sa manette sur la position de grande vitesse et ne s'occupant plus de son manipulateur : dans ce cas, chaque contacteur est établi pour fermer le circuit local de commande du ou des contacteurs correspondant à la vitesse suivante, et le limiteur d'intensité agit pour ne

(1) La recharge d'une batterie s'effectue en série sur le circuit d'éclairage, pendant qu'une seconde batterie semblable assure le service. A chaque voyage, le rôle des batteries est inversé.

(2) Le petit contrôleur est généralement appelé, par les Américains, *master controller* : on a pris l'habitude, en France, de le désigner sous le nom de *manipulateur*.

(3) Le système électropneumatique est employé par la Compagnie Westinghouse ; les contacteurs électromagnétiques sont employés par la General Electric Co., la Thomson-Houston, l'A. E. G. et l'U. E. G., la Société Siemens-Schuckert.

permettre le fonctionnement de ces appareils que quand l'intensité de courant est redescendue à une valeur déterminée.

» Ce mode de commande indirect est surtout précieux lorsqu'il s'agit de trains à unités multiples, car il permet au mécanicien placé en tête du train d'asservir les moteurs répartis sur plusieurs voitures et d'en régler, à distance, la vitesse par différents couplages. Ce mode de commande est une des caractéristiques de toutes les nouvelles installations.

» *Conducteurs d'alimentation et feeders.* — Il n'y a pas que sur la locomotive qu'une intensité de 4200 ampères crée des difficultés. Elle exige, pour l'alimentation des trains en marche, l'emploi de conducteurs présentant une résistance électrique extrêmement faible et, en outre, l'emploi d'organes de prises de courant de très grande surface. Comme conducteurs d'alimentation, on emploie un troisième rail, en acier contenant peu de carbone et présentant une conductibilité électrique relativement bonne. Afin d'éviter des chutes de tension exagérées, on est obligé de multiplier les points d'alimentation de ce troisième rail et d'employer des feeders de très forte section. Le retour du courant s'effectue par les rails de roulement, soigneusement éclissés, au point de vue électrique, par des jonctions en cuivre et reliés également par des feeders de retour.

» *Avantages d'une tension élevée.* — En présence des dépenses considérables auxquelles conduit la nécessité d'employer des conducteurs de très forte section, on sent tout l'intérêt qu'il y aurait à élever la tension d'alimentation. D'une part, en augmentant la tension, on diminue proportionnellement l'intensité du courant absorbé par le train; d'autre part, on augmente proportionnellement ainsi la chute de tension admissible, pour une chute de tension relative donnée (10 pour 100, par exemple). En définitive, pour une puissance absorbée donnée et une chute de tension relative donnée, la longueur de voies que l'on peut exploiter sans point d'alimentation intermédiaire croît comme le carré de la tension d'alimentation.

» *Inconvénients du troisième rail.* — Le système avec troisième rail ne se prête pas, d'une façon générale, à l'adoption d'une tension supérieure à 600 volts ⁽¹⁾. Déjà, dans bien des cas, cette tension a causé des accidents graves, même mortels et elle doit être considérée comme un maximum : malgré les revêtements en planches plus ou moins complets dont on entoure le troisième rail au passage à niveau et dans les gares ⁽²⁾, un contact accidentel peut fréquemment se produire.

» En outre, plus la tension est élevée, plus un court-circuit avec les rails de roulement voisins peut se produire facilement. Enfin, en cas de gel, de verglas ou de chute de neige, le troisième rail se recouvre d'une couche isolante qui rend le service extrêmement difficile, sinon impossible ⁽³⁾; en cas d'inondation, il y a court-circuit entre les rails ⁽⁴⁾.

» Toutes ces raisons font désirer l'abandon du troisième rail et son remplacement par un fil aérien avec lequel tout contact accidentel est impossible, sauf en cas de rupture, et avec lequel la sécurité d'exploitation est bien plus complètement assurée.

» La section d'un fil aérien ne pouvant guère être supérieure à 100 mm² à cause des difficultés de pose et de tension, on est conduit à ne pas faire passer plus de 250 à 300 ampères par fil comme intensité moyenne du courant. Si donc l'on veut recueillir une puissance de 750 kilowatts par exemple, il faudra adopter une tension de 3000 volts au minimum. On voit ainsi que, pour la traction des trains lourds, on est vite conduit à l'emploi des tensions élevées, c'est-à-dire à l'adoption des courants alternatifs.

» C'est ce système de traction que nous allons étudier maintenant.

(1) Dans le cas des chemins de fer métropolitains, où la voie est inaccessible, on a pu aller au delà : à Berlin, par exemple, la ligne est alimentée sous 800 volts.

(2) Sur le chemin de fer du New-York Central, on emploie maintenant un troisième rail renversé, soutenu par des supports en forme de cols de cygne et recouvert de planches : l'organe de prise de courant frotte sur la surface inférieure du rail.

(3) C'est pour parer à cet inconvénient que l'on a protégé par des revêtements en bois le troisième rail de la ligne du New-York Central Railroad.

(4) Ce fait s'est produit à Londres.

II. — SYSTÈME DE TRACTION PAR COURANTS TRIPHASÉS.

» Comme nous l'avons vu, on fut conduit à l'emploi de courants alternatifs d'une part pour pouvoir élever la tension d'alimentation, et d'autre part pour pouvoir réduire les sous-stations à de simples postes de transformateurs statiques, relativement espacés et n'exigeant pas de surveillance permanente. A cet avantage que présentent les postes de transformateurs statiques, il y a lieu d'en ajouter un autre : c'est que ces appareils supportent facilement de courtes surcharges égales à quatre fois leur puissance normale, tandis que les commutatrices des sous-stations à courant continu supporteraient difficilement une surcharge égale seulement au double de leur puissance normale.

» Parmi les moteurs à courants alternatifs, un seul type était susceptible, en 1901, de donner de bons résultats : c'est le moteur asynchrone polyphasé qui, d'ailleurs, présente le précieux avantage de n'avoir pas de collecteur, organe toujours délicat et fragile. On fut donc conduit tout naturellement à l'emploi des courants polyphasés et, parmi eux, à l'emploi des courants triphasés qui présentent le plus d'avantages.

Installation faite sur la ligne de la Valteline.

» La Maison Ganz et C^{ie} étudia d'une façon complète et, l'on peut dire, d'une façon très heureuse, le problème de l'application des courants triphasés à la traction. La ligne de la Valteline fut ouverte à l'exploitation pendant l'été 1902 et, après quelques petits tâtonnements, inévitables au début, elle présenta un fonctionnement régulier très satisfaisant.

» L'installation de cette ligne est bien connue : une usine génératrice hydro-électrique, située à Morbegno, produit des courants triphasés à 30000 volts que transmet une ligne à trois fils supportée, en général, par les mêmes poteaux que la ligne d'alimentation; cette ligne de transmission alimente un certain nombre de postes de transformateurs où la tension est abaissée à 3000 volts. L'une des phases de ces appareils est reliée aux rails; on a adopté la

fréquence de seize périodes par seconde pour atténuer les effets de self-induction de ceux-ci. Les deux autres phases sont reliées à deux fils aériens, supportés par des fils d'acier transversaux fixés aux poteaux en bois.

» Au début, chaque train de voyageurs comprenait une automotrice et quelques voitures de remorque ; les trains de marchandises étaient trainés par des locomotives. Dans la suite, on a construit des locomotives capables de remorquer indifféremment, soit les trains de voyageurs, soit les trains de marchandises.

» *Locomotives Ganz et C^{ie}*. — Je vais décrire très rapidement ces machines dont les dispositions générales présentent un réel intérêt.

» Les locomotives ont été établies pour fournir un effort de traction de 6000 kg à une vitesse de 32 km à l'heure ou un effort de traction de 3500 kg à une vitesse de 64 km à l'heure.

» Comme vous le savez, les moteurs asynchrones possèdent une vitesse nettement définie qui dépend de la fréquence des courants d'alimentation et qui est d'environ 2 pour 100 inférieure à la vitesse du synchronisme ; cette différence de 2 pour 100 est nommée *glissement du moteur*. Les moteurs étant établis pour la grande vitesse de 64 km à l'heure, il fallait employer un artifice particulier pour réaliser la vitesse de 32 km à l'heure. Ce résultat a été obtenu par l'emploi d'un moteur secondaire pour chaque moteur primaire. En grande vitesse, les moteurs primaires travaillent seuls ; en petite vitesse, chaque moteur secondaire est accouplé en cascade avec l'un des moteurs primaires. On sait que, quand deux moteurs asynchrones sont accouplés en cascade, c'est-à-dire quand le rotor du premier est relié au stator du second, les deux moteurs prennent une vitesse commune voisine de la demi-vitesse de synchronisme ; on peut donc réaliser ainsi la marche à demi-vitesse.

» Pour les vitesses de transition, on emploie le procédé connu, inventé par M. Leblanc et universellement répandu maintenant, qui consiste à intercaler dans le circuit du rotor du moteur secondaire (petite vitesse) ou du moteur primaire (grande vitesse) des résistances de valeur variable.

» La locomotive Ganz comprend trois essieux moteurs et deux essieux porteurs extrêmes, chacun de ces deux derniers formant,

avec l'essieu moteur voisin, un bogie susceptible de tourner autour d'un pivot.

» Comme le montre la figure 2, deux moteurs fixés au châssis entraînent les trois essieux par l'intermédiaire de bielles et de barres d'accouplement. Les moteurs sont munis de manivelles reliées entre elles de chaque côté par une bielle, celle-ci porte en son milieu le coussinet dans lequel tourne la manivelle de l'essieu mo-

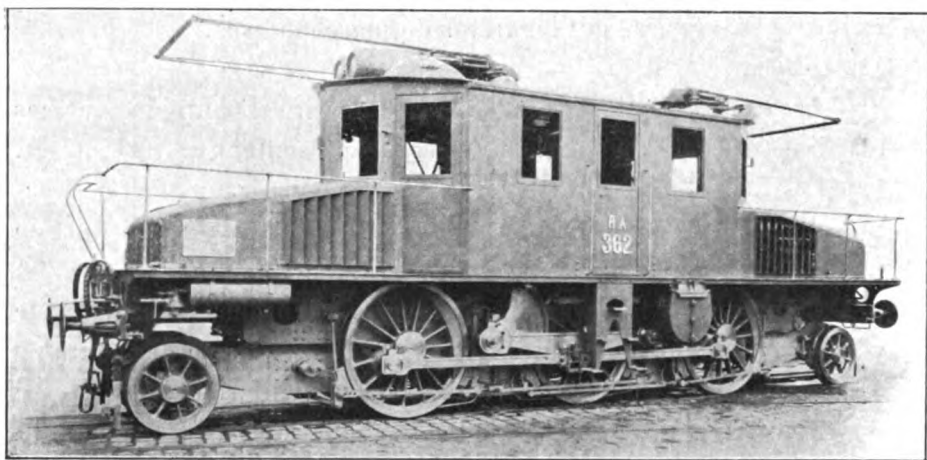


Fig. 2. — Locomotive Ganz (Valteline).

teur central; ce coussinet peut se déplacer verticalement dans une glissière, pour permettre les mouvements relatifs entre le châssis de la locomotive et les essieux. La bielle porte, en outre, les deux barres d'accouplement aboutissant aux manivelles des deux autres essieux moteurs; ces barres sont montées à rotules. Ce système d'entraînement par bielle et manivelles donne de bons résultats, et son emploi tend à se généraliser sur les locomotives électriques.

» *Moteurs.* — Chaque moteur est double, la même carcasse contenant à la fois un moteur primaire et un moteur secondaire. La figure 3 représente un tel moteur avec sa manivelle, ses bagues de contact reliées au rotor et les frotteurs à ressorts qui appuient sur ces bagues. L'arbre qui supporte les parties tournantes du moteur double est maintenu dans des coussinets supportés par la carcasse; ces coussinets ne sont soumis qu'aux efforts résultant de la

pesanteur du rotor, et un graissage convenable suffit pour éviter l'usure. Par suite, la valeur de l'entrefer peut, sans inconvénient, être très faible, ce qui est nécessaire pour l'obtention d'un bon

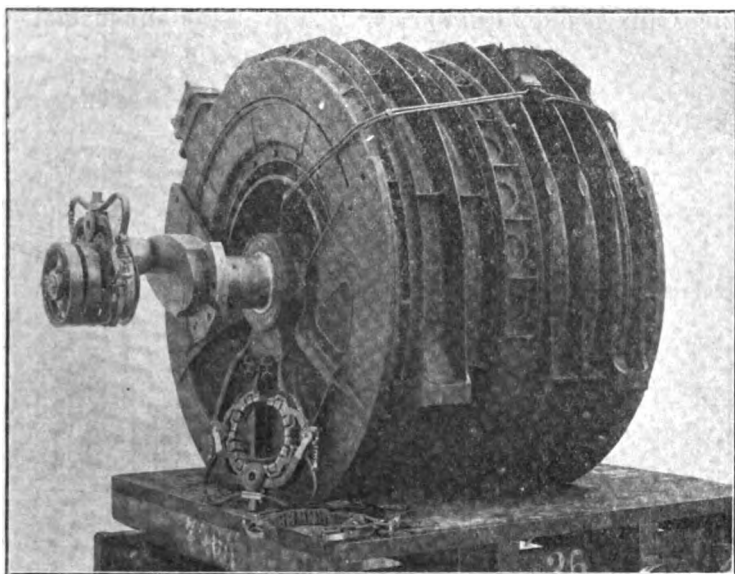


Fig. 3. — Moteur de la locomotive Ganz.

facteur de puissance. En dehors des paliers de la carcasse, nettement visibles sur la figure 4, les extrémités de l'arbre tournent dans des coussinets maintenus par des glissières fixées au châssis ; ce sont ces coussinets qui supportent les efforts de réaction provenant de la commande des bielles. La carcasse de chaque moteur est fixée au châssis par des pattes, avec interposition de ressorts à boudins qui amortissent les chocs au démarrage. Comme on le voit sur les figures 3 et 4, les bagues servant à assurer les connexions entre le rotor et le rhéostat sont placées à l'extérieur du châssis et sont montées sur l'arbre après la manivelle ; les trois câbles qui aboutissent à ces bagues passent dans l'arbre, la manivelle et la contre-manivelle qui sont creux. Ce dispositif a permis d'utiliser pour le moteur toute la largeur disponible et assure, en outre, une grande facilité de visite et d'entretien des bagues et des frotteurs, que protège un carter en tôle en deux parties.

» Les enroulements des rotors des deux moteurs primaire et

secondaire placés dans une même carcasse sont invariablement reliés ensemble ; dans le moteur primaire, l'inducteur est fixe et l'induit tourne ; dans le moteur secondaire, l'inducteur tourne et l'induit est fixe. Les sorties communes des enroulements tournants sont reliées aux bagues qui servent quand le moteur primaire tra-

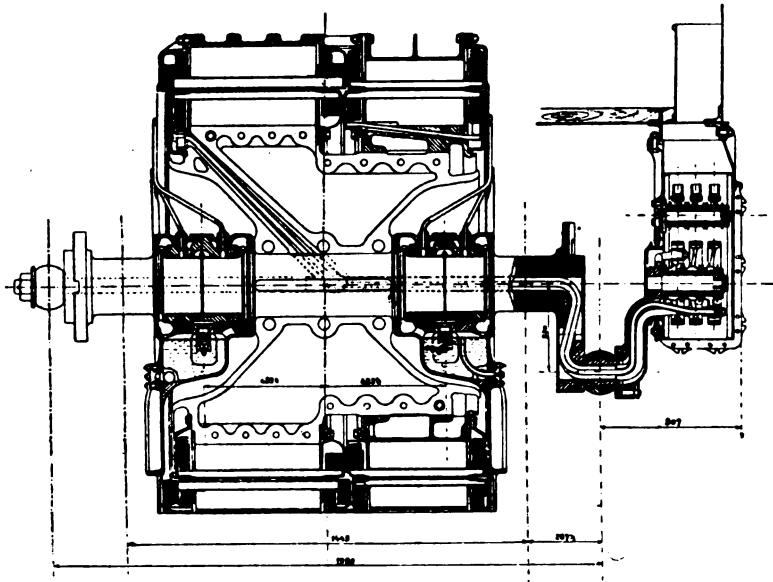


Fig. 4. — Vue en coupe du moteur Ganz.

vaillait seul et ne jouent aucun rôle quand les moteurs sont groupés en cascade. La puissance normale d'un moteur est d'environ 450 chevaux.

» *Réglage de la vitesse.* — Le réglage de la vitesse est effectué au moyen d'un rhéostat à liquide pour chaque moteur. Cet appareil comprend un réservoir à eau, en tôle, surmonté d'une caisse en fonte dans laquelle sont suspendues trois plaques, connectées chacune à une phase du circuit secondaire. Sur les parois sont fixés des radiateurs à ailettes, semblables à ceux employés sur les automobiles. On envoie dans le réservoir inférieur de l'air comprimé qui fait monter le liquide à un niveau plus ou moins élevé ; les plaques baignent alors sur une plus ou moins grande hauteur, et l'on peut régler à volonté la valeur de la résistance mise en circuit ; pour un certain niveau de l'eau, le rhéostat est mis automatiquement en

court-circuit par le jeu d'un flotteur. Les constructeurs ont établi aussi une locomotive munie de résistances métalliques.

» Toutes les manœuvres sont effectuées par l'intermédiaire d'air comprimé. Le mécanicien agit sur un appareil de manœuvre à trois poignées : l'une d'elles commande l'interrupteur-inverseur à haute tension, la deuxième commande un coupleur qui effectue les couplages nécessaires pour la marche à petite vitesse (moteurs en cascade) ou à grande vitesse (moteurs primaires seuls alimentés), enfin la troisième agit sur une valve pneumatique très intéressante avec réducteur de pression, qui détermine le fonctionnement du rhéostat et, par suite, le réglage de la vitesse.

» L'organe de prise de courant est constitué par un rouleau à deux cylindres de contact isolés par une pièce de bois dur : ce rouleau est supporté par deux perches dont chacune sert de conducteur à l'une des phases. Le relèvement ou l'abaissement de l'ensemble est assuré par le jeu d'un cylindre à air comprimé dont le piston agit sur les perches pour appuyer le rouleau contre les fils avec une pression d'autant plus grande que la vitesse de marche est plus grande.

» Telles sont les principales caractéristiques de ces machines. Les essais ont donné des résultats tout à fait satisfaisants ; l'effort de traction a pu atteindre 9000 kg aux crochets, soit environ 12000 kg comme effort tangentiel aux roues.

Installation de la ligne du Simplon.

» Une autre installation de traction par courants triphasés a été faite par la Maison Brown-Boveri au tunnel du Simplon. La figure 5 représente une des locomotives employées, construite primitivement pour la Valteline et présentant, au point de vue mécanique, la même disposition que les locomotives Ganz. Au point de vue électrique, la solution adoptée est différente : les deux vitesses de rotation des moteurs sont obtenues, non plus par des groupements en cascade, mais par modification du nombre de pôles de chaque stator, bobiné pour seize ou pour huit pôles : les connexions convenables sont effectuées par la manœuvre d'un commutateur. Le rotor de chaque moteur porte six enroulements reliés à six bagues de

prise de courant ; l'emploi de six enroulements permet de ne pas modifier les connexions du rotor quand on modifie le nombre de pôles du stator. Les résistances métalliques, qui sont introduites dans le circuit de chaque rotor pour le démarrage et les vitesses

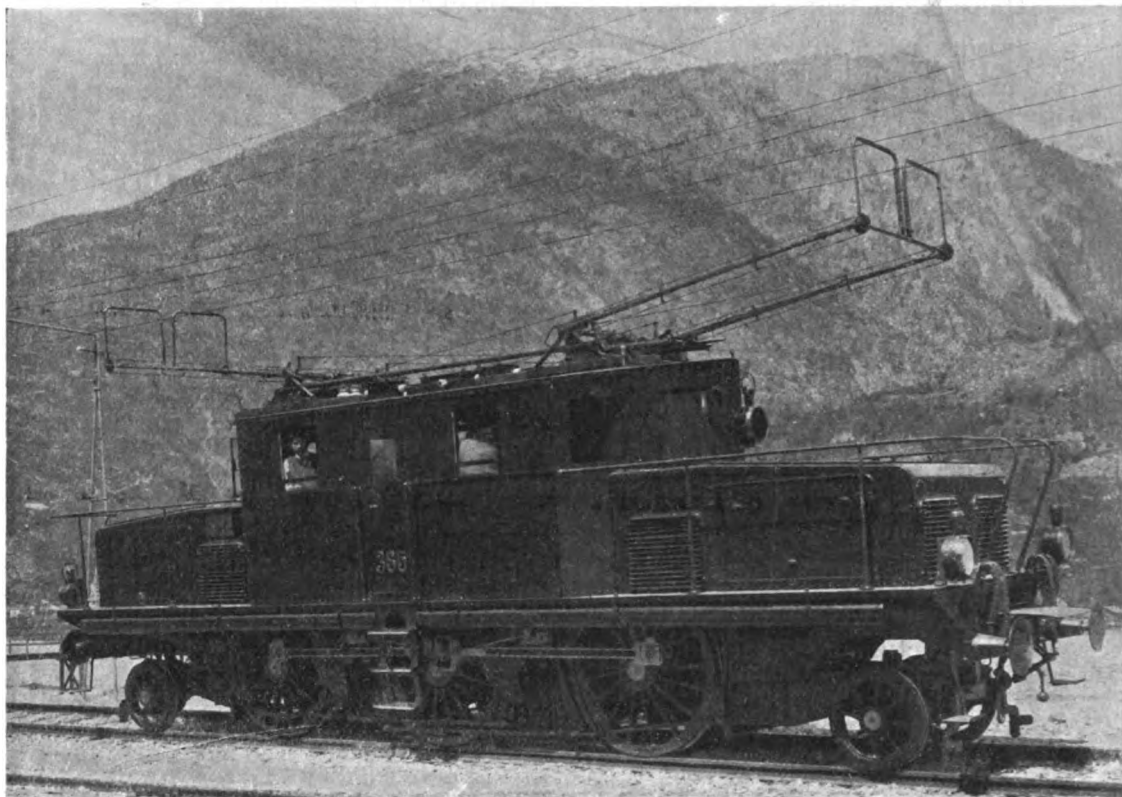


Fig. 5. — Locomotive triphasée Brown-Boveri (Simplon).

intermédiaires, forment, pour chaque moteur, un groupe distinct et sont placées dans des coffres en tôle situés à l'avant et à l'arrière de la machine. Ces résistances sont constituées par des tissus de fil de rhéotan tendus sur des cadres en fer : chaque groupe comprend six éléments, un pour chaque phase du rotor ; les contacts, sur lesquels glissent des balais en charbon, sont disposés à proximité des résistances ; ces balais sont commandés mécaniquement par une chaîne de transmission qu'actionne un volant à main. Quatre ventilateurs, placés deux à l'avant et deux à l'arrière des

locomotives, assurent un bon refroidissement des résistances; ils sont entraînés par de petits moteurs de 3 chevaux insérés dans le circuit du rotor de chaque moteur, ils **entrent en fonctionnement** quand celui-ci **démarre** et sont mis hors circuit par un dispositif spécial quand il a atteint sa pleine vitesse.

» L'organe de prise de courant consiste en deux archets articulés.

» Les prochaines locomotives que la Maison Brown-Boveri mettra en service sur la ligne du Simplon auront quatre essieux moteurs utilisant pour l'adhérence le poids total de la machine. Les locomotives auront quatre vitesses, obtenues par modification du nombre de pôles du stator, et par groupement, en étoile et en triangle, des enroulements du rotor.

» Les dernières locomotives livrées par la Maison Ganz ne sont plus établies de la même façon que les précédentes. Un moteur à huit pôles assure la marche à grande vitesse; sa puissance est de 1500 chevaux. Un second moteur, à douze pôles, assure la marche à petite vitesse; sa puissance est un peu moindre. Le groupement en cascade de ces deux moteurs permet de marcher à une vitesse d'environ 25 km à l'heure.

» Telles sont, rapidement esquissées, les dispositions générales employées pour l'application des courants triphasés à la traction électrique sur deux grandes voies ferrées (1). Il reste à rappeler sommairement les avantages que présente un tel système de traction, et les inconvénients particuliers qui lui ont été reprochés.

AVANTAGES DU SYSTÈME TRIPHASÉ.

» Tout d'abord, au point de vue des *frais d'installation et d'exploitation*, les calculs et les résultats obtenus à la Valteline montrent que ce système présente une économie sensible par rapport au système à courant continu, la comparaison faite ayant porté sur les chiffres obtenus sur les deux lignes italiennes.

» L'absence de collecteur sur les moteurs est un avantage incontestable et abaisse les dépenses d'entretien; la ligne aérienne

(1) Pour compléter ce qui concerne les installations à courants triphasés, je puis indiquer que le Gouvernement italien adoptera ce système de traction électrique pour l'exploitation du tunnel de Giovi, reliant Gênes à Turin.

double exige, il est vrai, un peu plus d'entretien qu'une ligne simple, mais l'augmentation de dépenses qui en résulte est sensiblement inférieure à l'économie réalisée sur l'entretien du matériel.

» Le moteur asynchrone triphasé possède, comme le moteur à courant continu, un *couple continu*, mais sa *vitesse de rotation* est *constante* et, à part une variation de glissement de quelques centièmes au maximum, elle conserve la même valeur quelle que soit la charge. Cette propriété peut être regardée soit comme un avantage, soit comme un inconvénient, suivant les cas. Quand, dans une descente, la vitesse de rotation des moteurs atteint la vitesse du synchronisme, le courant absorbé est nul ; quand la vitesse des moteurs dépasse le synchronisme, ceux-ci fonctionnent comme générateurs et *recupèrent* de l'énergie qui est renvoyée à la ligne. Cet avantage est précieux dans les lignes accidentées, présentant de fortes pentes. Pour l'un des deux couplages de moteurs donné, le train conserve toujours, indépendamment du mécanicien, une vitesse constante quel que soit le profil de la voie.

INCONVÉNIENTS DU SYSTÈME TRIPHASÉ.

» On a reproché au système triphasé plusieurs inconvénients.

» En premier lieu, l'emploi d'une *double ligne aérienne* et la difficulté des aiguillages sur cette ligne a paru, à beaucoup d'ingénieurs, un inconvénient sérieux. Pour une tension de 3000 volts, telle que celle employée à la Valteline et au Simplon, il semble que cet inconvénient soit peu important ; par contre, pour les tensions plus élevées, que l'on a tendance à employer maintenant, l'écartement nécessaire entre les fils et les organes de prise de courant compliquerait considérablement le problème pour les voies de gabarit normal, et l'inconvénient d'une double ligne deviendrait très sérieux.

» Un autre reproche concerne le *faible entrefer* que l'on doit donner aux moteurs pour obtenir un bon facteur de puissance et pour que, dans l'accouplement en cascade, le moteur secondaire ne présente pas une forte dispersion diminuant le couple du moteur primaire. La pratique de la Valteline a montré que cet inconvénient n'est pas grave ; le remplacement des paliers, d'après les usures constatées sur les premières machines, ne devant avoir lieu qu'au

bout de 200 000 km. La nouvelle disposition des bagues de contact à l'extérieur du châssis a permis de gagner beaucoup de place à l'intérieur et d'employer de très longs paliers.

» On a dit aussi que la présence de *bagues de contact* était presque aussi fâcheuse que celle d'un collecteur : c'est évidemment très exagéré, et il n'y a pas de comparaison à établir entre un collecteur et ses balais, ou entre des bagues lisses et leurs frotteurs.

» En ce qui concerne le *réglage de la vitesse*, on a fait remarquer les inconvénients qui résultent soit du poids mort des moteurs secondaires, inutilisés en grande vitesse, soit des couplages et des bobinages compliqués nécessaires pour modifier le nombre de pôles des moteurs.

» Les détracteurs du système triphasé ont signalé souvent aussi que les fortes variations de charges produites sur la ligne lorsqu'un train monte une rampe ou descend une pente doivent amener des *variations de tension* importantes, nuisibles au fonctionnement des moteurs des autres trains, dont le couple est proportionnel au carré de la tension. En réalité, il se produit, comme l'a signalé judicieusement M. Boucherot, un phénomène tout autre : au moment d'une forte surcharge due à un train, la vitesse des groupes générateurs de l'usine diminue, la fréquence des courants baisse et les moteurs des autres trains en marche se trouvant au synchronisme, ou même au delà du synchronisme, n'absorbent plus de courant ou font de la récupération. L'ensemble des trains en service forme donc un vaste volant et, en fait, les variations maxima de charge constatées à l'usine génératrice de Morbegno n'ont jamais dépassé 70 à 80 pour 100⁽¹⁾. Évidemment il faut, pour que cette compensation soit possible, que les groupes électrogènes de l'usine génératrice desservent seulement le réseau de traction ; car un réseau de distribution s'accommoderait mal de variations de fréquence supérieures à 2 pour 100. D'ailleurs, étant donnée la faible fréquence employée (15 à 16 périodes par seconde), les groupes électrogènes de

(1) Comme l'a indiqué M. Boucherot, on pourrait abaisser à une valeur insignifiante cette variation de charge, en admettant de plus grands écarts de réglage de la vitesse des groupes générateurs et, par suite, de plus grandes variations de fréquence, de façon à accentuer l'effet signalé. Les variations de vitesse de très courte durée qui en résulteraient sur les trains en marche n'auraient pas d'inconvénient.

traction ne peuvent généralement pas être employés pour d'autres services (1).

» On a objecté aussi que le rendement d'ensemble doit être mauvais par suite de la *dissipation d'énergie dans les résistances*, de la faible valeur du *facteur de puissance au démarrage*, etc. Les mesures faites sur la ligne de la Valteline ont montré qu'au contraire le rendement d'ensemble est bien meilleur qu'avec le système ordinaire à courant continu. La consommation totale d'énergie à l'usine génératrice s'est élevée à 44,3 watts-heure par tonne-kilomètre; dans ce chiffre sont comprises toutes les pertes, la consommation de courant pour l'éclairage de toutes les stations, la consommation de courant pour l'éclairage et le chauffage des trains, et la consommation d'énergie des machines-outils des ateliers de réparations de Lecco. Sur la motrice elle-même, on a trouvé une consommation nette moyenne de 31 watts-heure par tonne-kilomètre. Les expériences de récupération ont montré, d'autre part, que l'on peut recueillir environ 80 pour 100 de l'énergie qui serait absorbée en pure perte dans les freinages.

» Enfin, il y a encore un inconvénient que je dois signaler et qui est dû à la constance de la vitesse de rotation des moteurs asynchrones. Le système triphasé *ne peut pas se prêter à l'emploi d'unités multiples*, car, par suite d'une faible inégalité de diamètre des roues des différentes voitures automotrices, inégalité due à l'usure des bandages, certains moteurs présenteraient un glissement anormal tandis que d'autres tourneraient à peu près au synchronisme. Sur les locomotives triphasées, comme sur les locomotives à vapeur, on pare à cet inconvénient en remplaçant simultanément les bandages de tous les essieux moteurs.]

CONDITION D'EMPLOI DU SYSTÈME TRIPHASÉ.

» Il semble que le système triphasé doive être employé avec succès sur les voies à profil accidenté, où la récupération joue un

(1) Il y a lieu de remarquer que les générateurs alimentant une ligne de traction ne sont presque jamais appelés à assurer un autre service. Avec le système à courant continu, par exemple, les variations de tension sont bien supérieures aux variations de fréquence du système triphasé.

rôle important, et pour la traction des trains lourds, exigeant des locomotives de grande puissance munies de moteurs robustes.

III. — SYSTÈME MONOPHASÉ.

» Avant de parler d'une façon générale du système monophasé et de ses applications, je suis obligé de dire quelques mots sur les moteurs monophasés à collecteur employés dans ce système.

MOTEURS MONOPHASÉS.

» *Moteurs série.* — Depuis longtemps on a établi des moteurs série de faible puissance (2 ou 3 chevaux), à inducteurs feuilletés fonctionnant sur courant alternatif. On conçoit immédiatement que, puisque le sens du courant varie simultanément dans les bobines inductrices et dans l'induit, on puisse alimenter au moyen de courant alternatif un moteur série à inducteurs feuilletés, et obtenir un couple pulsatoire toujours de même sens. Mais, à côté de l'action dynamique (due à la rotation de l'induit dans le champ), il se produit, comme dans un transformateur, une action statique, d'après laquelle le flux alternatif, engendré dans l'inducteur agissant comme primaire, induit une force électromotrice alternative dans les circuits secondaires fermés, constitués par les bobines induites que court-circuitent les balais. En outre, on est obligé, pour obtenir une valeur suffisamment élevée du facteur de puissance, d'adopter un très faible entrefer, et, dans ces conditions, la réaction d'induit produit des effets intenses qui rendent la commutation franchement mauvaise dès que la puissance du moteur est un peu importante. On a donc été conduit d'une part à employer, sur l'inducteur, un enroulement compensateur transversal ou des pôles de commutation destinés à neutraliser le flux propre de l'induit, et, d'autre part, à recourir à des artifices pour limiter la valeur de l'intensité des courants produits dans les bobines en court-circuit par les forces électromotrices induites statiquement.

» Parmi ces artifices, il convient de citer l'emploi de jonctions résistantes interposées entre les lames du collecteur et les points correspondants de l'induit : ces jonctions résistantes sont actuelle-

ment constituées par des conducteurs placés au fond des encoches sous les bobines induites, les soudures étant faites du côté opposé au collecteur : elles sont en métal de résistance élevée, tel que le maillechort, le manganin, la kruppine, le rhéotan, etc. Dans les moteurs Siemens-Schuckert, ces jonctions résistantes sont en fil de cuivre, de diamètre convenable, et forment elles-mêmes un enroulement ouvert, placé dans le fond des encoches, et contribuant à produire le couple du moteur : cette disposition a permis d'augmenter un peu la valeur du couple. Dans les moteurs Siemens-Schuckert et dans les moteurs OErlikon, outre l'enroulement compensateur excité en série par le courant total, on emploie aussi, pour neutraliser complètement les forces électromotrices nuisibles, un enroulement auxiliaire produisant un champ déphasé sensiblement de 90° par rapport au champ principal. L'utilisation d'un champ ainsi déphasé a été brevetée par MM. Behn-Eschenburg, Marius Latour et Richter. Cette idée avait été exprimée dès 1901 par M. Marius Latour.

» Malgré tous les artifices employés, on ne peut établir, en général, des moteurs série monophasés pour des différences de potentiel aux bornes supérieures à 250 volts et pour des fréquences supérieures à 25 périodes par seconde.

» *Moteurs à répulsion compensés.* — Certains inventeurs se sont appliqués à perfectionner le moteur à répulsion d'Atkinson, dans lequel le flux d'excitation est produit par l'induit lui-même que court-circuitent deux balais dont l'axe est incliné d'une trentaine de degrés par rapport à l'axe de l'enroulement inducteur. Au point de vue de la commutation, le moteur à répulsion fonctionne d'une façon très satisfaisante au synchronisme ; car il se forme alors un flux tournant à la même vitesse que l'induit. M. Marius Latour, ainsi que MM. Winter et Eichberg, ont eu l'ingénieuse idée de réaliser une combinaison du moteur série et du moteur à répulsion, profitant ainsi du grand couple de démarrage du premier et de la bonne commutation du second au voisinage du synchronisme. Ce moteur, désigné sous le nom de *moteur à répulsion compensé*, est considéré à juste titre comme le plus parfait des moteurs monophasés : il comporte, en principe, deux fois plus de lignes de

balais qu'un moteur série correspondant, les axes des deux systèmes de balais étant perpendiculaires (90° électriques) l'un à l'autre. Pour un moteur bipolaire, par exemple, il y a deux paires de balais : les balais de l'une des paires sont court-circuités entre eux, comme dans le moteur à répulsion; les balais de l'autre paire sont en série avec l'inducteur et la ligne, comme dans le moteur série ⁽¹⁾.

» Le reproche que l'on peut adresser à ce type de moteurs est d'être un peu plus compliqué que le moteur série, mais il offre l'avantage de fonctionner parfaitement sur les fréquences de 40 à 50 périodes par seconde.

» Le moteur série peut être construit avec pôles saillants ou avec enroulements répartis comme ceux du stator d'un moteur polyphasé; le moteur à répulsion compensé ne peut être construit qu'avec enroulements répartis. Ces deux types de moteur peuvent fonctionner sur courant continu; le premier réalise, sans aucune modification des connexions, un excellent moteur à courant continu; le second exige une modification des connexions et donne lieu à des difficultés provenant de la présence des balais supplémentaires dans le champ.

» La description générale de quelques-unes des récentes installations de traction par courant monophasé permettra de se rendre compte de la simplicité et des avantages de ce système. Pour que cette description soit à peu près complète, je passerai successivement en revue des installations faites avec chacun des différents systèmes.

Installations faites par la Compagnie Westinghouse.

» La Compagnie Westinghouse a déjà équipé un grand nombre de lignes avec le système monophasé.

» *Lignes d'Indianapolis à Cincinnati.* — La première installation mise en service a été un tronçon de la voie ferrée d'Indianapolis à Cincinnati, dont la longueur totale atteindra 190 km; la traction

(1) Un mode de connexion particulier a permis de réduire le nombre de lames de balais.

électrique doit remplacer d'une façon complète la traction à vapeur.

» Une *usine génératrice* centrale, utilisant des gaz naturels, produit des courants diphasés à 33000 volts et 25 périodes; l'énergie électrique est transmise à des postes de transformateurs, reliés chacun à une phase et répartis le long de la voie tous les 16 km ou 18 km. Ces postes abaissent à 3300 volts la tension du courant monophasé qu'ils reçoivent : les enroulements secondaires des transformateurs sont directement reliés au fil de trôlet.

» La *ligne aérienne* alimentant les automotrices consiste en un fil suspendu à un câble en acier auquel il est relié tous les 3 m par des attaches de longueur variable. Le câble d'acier est fixé à de solides isolateurs en porcelaine supportés par les consoles des poteaux; il présente une certaine flèche tandis que le fil de trôlet est presque horizontal. Ce mode de construction, dit *suspension catenaire*, est très fréquemment employé dans les installations monophasées; il assure le maximum de sécurité en rendant très rare et inoffensive une rupture du fil de travail.

» Chaque *automotrice* est munie de quatre moteurs série de 75 chevaux. Chacun d'eux comprend un induit semblable à un induit ordinaire à courant continu, mais pourvu de connexions équipotentielle et muni de jonctions résistantes entre les bobines induites et les lames de collecteur, comme cela a été expliqué plus haut. L'inducteur est constitué par des anneaux en tôle soutenus par une carcasse en acier coulé; ces anneaux portent des saillies en forme de pôles dans lesquelles sont percées des encoches longitudinales mi-fermées. Chaque pôle a deux enroulements, un enroulement inducteur qui embrasse tout le noyau magnétique, et un enroulement compensateur, réparti dans les encoches et destiné à neutraliser la réaction d'induit. Les deux enroulements sont parcourus en série par le courant total du moteur. Les figures 6 et 7 représentent l'inducteur et l'induit d'un moteur de 150 chevaux.

» La ligne interurbaine d'Indianapolis à Cincinnati est reliée aux réseaux de tramways de ces deux villes, exploités au moyen de courant continu à 500 volts. En outre, à la traversée des villes secondaires, la tension du courant monophasé est abaissée à 500 volts. Les automotrices doivent donc pouvoir fonctionner indifféremment soit sur du courant monophasé à 3000 volts, soit sur du courant mo-

nophasé à 500 volts, soit sur du courant continu à 500 volts.

» La solution adoptée pour le *réglage de la vitesse* est la suivante : pour la marche sur courant alternatif, un autotransformateur, dont le primaire porte deux prises de courant correspondant

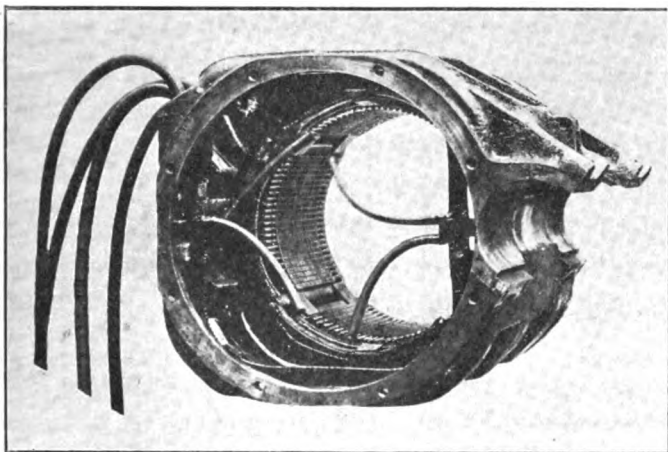


Fig. 6. — Inducteur d'un moteur série monophasé Westinghouse.

à 3000 volts et à 500 volts, abaisse la tension à deux valeurs secondaires différentes; les moteurs, toujours connectés en parallèle,

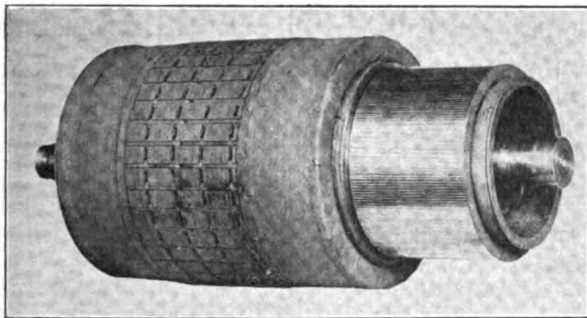


Fig. 7. — Induit d'un moteur série monophasé Westinghouse.

sont alimentés sous ces deux tensions, et les vitesses intermédiaires sont obtenues par l'insertion de résistances dans le circuit. Lorsque l'automotrice est alimentée par du courant continu, les quatre moteurs sont en série et les différentes vitesses sont obtenues au moyen de résistances. Évidemment il eût été plus économique, sur

courant alternatif, d'employer le système de réglage que nous verrons plus loin, consistant à produire, au moyen de l'autotransformateur, une tension secondaire variable; il eût fallu pour cela un double équipement, l'un pour le courant alternatif et l'autre pour le courant continu, et c'est pour éviter cette complication qu'on a adopté la méthode de réglage par résistances.

» La commande des moteurs et leur réglage sont effectués par le système électropneumatique; le courant nécessaire au fonctionnement des valves électropneumatiques est fourni par deux petites batteries de sept accumulateurs. Les contacteurs, à peu près semblables à ceux employés dans les équipements à courant continu, sont réunis en deux groupes, placés sous le châssis et comprenant l'un onze, l'autre quatre appareils.

» *Ligne d'Atlanta.* — La ligne de 24 km reliant Atlanta et Marietta est exploitée également au moyen de courant monophasé.

» Ici, l'énergie électrique est transmise sous forme de courants triphasés à 22000 volts et 25 périodes : la ligne est divisée en trois sections alimentées chacune par une des phases du système triphasé; la tension est abaissée à 2200 volts en rase campagne et à 550 volts dans les villes; le fil de trôlet est soutenu tous les 30 m par des fils transversaux d'après un mode de construction analogue à celui des lignes de tramways, à part l'emploi d'isolateurs à haute tension.

» Chaque automotrice porte quatre moteurs de 50 chevaux. Ces moteurs sont groupés par deux en parallèle d'une façon permanente. Un autotransformateur abaisse la tension du courant monophasé et porte six prises de courant correspondant à des différences de potentiel graduelles comprises en 144 et 288 volts. Le contrôleur permet de passer d'une prise de courant à la suivante et de faire ainsi varier progressivement la différence de potentiel aux bornes des moteurs. Pour éviter, lorsqu'on passe d'une touche à la suivante, de mettre en court-circuit une section du transformateur, on emploie un dispositif analogue à celui des réducteurs de batteries d'accumulateurs. Ce dispositif consiste essentiellement en une bobine de self-induction et une résistance, qui sont toujours à cheval sur deux

touches voisines et au milieu desquelles est dérivé le conducteur allant aux moteurs.

» Il existe un autre mode de réglage qui consiste à employer, avec l'autotransformateur, un régulateur d'induction. Cet appareil est analogue à un moteur asynchrone et constitue un transformateur dont le secondaire peut être déplacé par rapport au primaire; suivant la position du secondaire, la tension produite peut varier entre un minimum et un maximum.

» D'après ce qui précède, on voit que l'un des avantages des systèmes monophasés consiste dans la facilité du réglage de la vitesse sans perte d'énergie.

» *Ligne de Spokane.* — Parmi les nombreuses autres lignes équipées par la Compagnie Westinghouse, on peut citer le chemin de fer électrique de Spokane and Inland qui, après achèvement complet, aura une longueur de 170 km.

» L'énergie électrique est fournie, sous forme de courants triphasés à 4000 volts et 60 périodes, à une sous-station placée à 16 km de Spokane. Dans cette sous-station, quatre groupes de moteurs-générateurs de 1000 kilowatts convertissent les courants triphasés en courant monophasé. Chacun de ces groupes comprend un moteur asynchrone triphasé à 4000 volts et 60 périodes, un alternateur monophasé à 2200 volts et 25 périodes, et une *dynamo à courant continu*, de 650 kilowatts à 550 volts. Cette dynamo, *reliée à une batterie tampon*, fonctionne tantôt comme génératrice, tantôt comme moteur. Les trois machines d'un groupe sont montées sur un socle commun et les trois rotors sont calés sur le même arbre. Des transformateurs élèvent à 45000 volts la tension du courant monophasé, qui est transmis à quinze postes de transformateurs statiques répartis le long de la voie. Ceux-ci abaissent la tension à 6600 volts en rase campagne et à 700 volts dans les villages. Dans les villes, la ligne est alimentée par du courant continu à 600 volts.

» Le fil de trôlet est à suspension caténaire. Les locomotives sont munies de quatre moteurs de 150 chevaux, que représentent les figures 6 et 7; les automotrices sont munies de quatre moteurs de 100 chevaux. Le réglage de la vitesse est effectué par variation de la tension aux bornes des moteurs, qui sont connectés par deux

en série d'une façon permanente. La commande est effectuée par le système électropneumatique, dont les valves sont établies pour fonctionner sur du courant alternatif à 200 volts ou sur du courant continu; le courant local nécessaire pour la commande de ces valves est fourni par des prises de courant spéciales de l'autotransformateur; pour la marche sur courant continu, le courant est pris en dérivation sur une résistance formant potentiomètre.

» Comme installation monophasée faite sur le continent par la Société Westinghouse, on peut citer le tramway à voie étroite de Rome à Civita Castellana, de 74 km de longueur, alimenté sous 6000 volts en rase campagne et 550 volts entre Rome et Monte Milvio. Chaque automotrice est munie de deux moteurs de 40 chevaux alimentés sous 250 volts par un autotransformateur qui porte des prises de courant correspondant à 6000, 550 et 250 volts.

» *Locomotives monophasées : ligne de New-York, New-Haven et Hartford.* — En ce qui concerne l'exploitation par locomotives de grande puissance, on peut citer une locomotive Westinghouse de 1500 chevaux à six essieux attaqués chacun par un moteur de 250 chevaux; cette machine est en service aux ateliers de Pittsburg. Aux ateliers de Manchester, une locomotive à quatre moteurs de 100 chevaux assure l'exploitation d'une ligne de 17 km alimentée sous 3000 volts. Enfin, une installation très importante, dont nous allons dire quelques mots, a été établie sur la ligne de New-York, New-Haven et Hartford. Cette ligne est exploitée au moyen de courant continu à l'intérieur de New-York, et de courant monophasé à 11 000 volts à l'extérieur de la ville.

» La *ligne aérienne* a été très solidement établie. Le fil de trôlet est soutenu par des ponts transversaux en acier supportés par des pylônes quadrangulaires; ces ponts desservent quatre à six voies et portent aussi les sémaphores; ils ont une longueur de 17,50 m et sont espacés de 100 m environ les uns des autres. Chacun des fils de trôlet est suspendu à deux câbles d'acier formant une double suspension caténaire; il est fixé aux sommets inférieurs de supports triangulaires indéformables dont les bases horizontales relient les deux câbles d'acier. Ceux-ci sont assujettis à des isolateurs en porcelaine d'une grande solidité placés à la partie supérieure des ponts

en acier; les supports triangulaires du fil de trôlet sont espacés de 3 m environ les uns des autres; la flèche des câbles d'acier atteint 1,80 m; le fil de trôlet est presque horizontal.

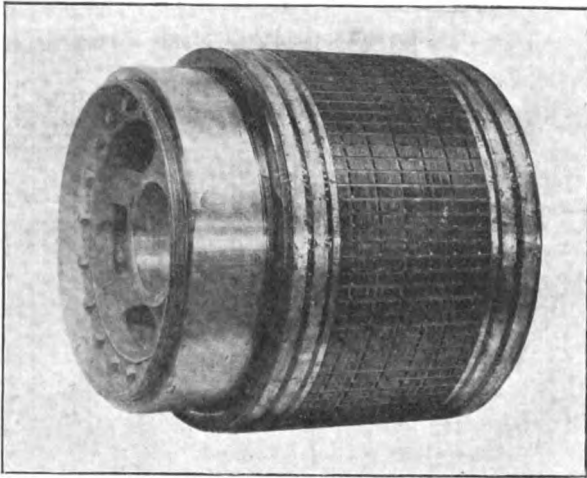


Fig. 8. — Induit d'un moteur Westinghouse de 250 chevaux.

» Les *locomotives* ont quatre essieux portant chacun un moteur de 250 chevaux enfilé sur lui. L'induit de ce moteur (*fig. 8*) est cla-

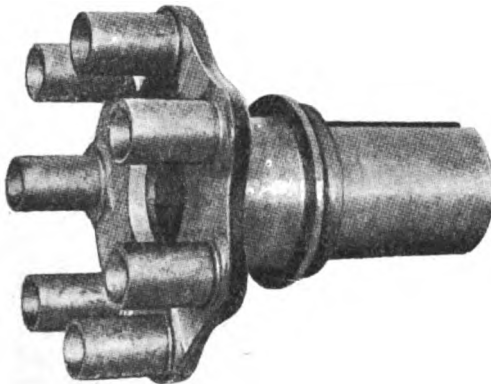


Fig. 9. — Vue d'un demi-manchon creux avec le plateau portant les manetons d'entraînement.

veté sur un arbre creux en deux parties portant à chaque extrémité un plateau d'accouplement muni de sept manetons d'entraînement. Chacune des moitiés de cet arbre creux, constituée par un plateau d'accouplement et un manchon (*fig. 9*), est enfoncée à la presse

hydraulique dans le corps creux de l'induit et clavetée sur celui-ci. A l'intérieur de l'arbre creux passe l'essieu qui porte les roues; chacune de celles-ci est munie de sept logements correspondant aux manetons d'entraînement (*fig. 10*). Entre chaque maneton et

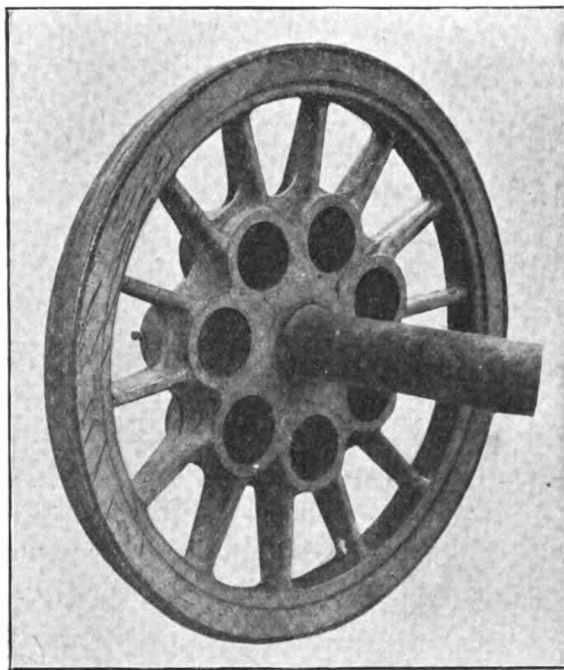


Fig. 10. — Vue des logements des manetons.

le logement correspondant est interposé un ressort à boudin à tours excentrés, destiné à transmettre élastiquement à la roue le couple exercé par le moteur. Ce mode de montage est nettement visible sur la figure 11. La figure 12 représente un essieu complet avec son moteur (1).

(1) En examinant en détail la solution adoptée pour l'entraînement élastique des roues, on voit combien les constructeurs se sont attachés à gagner le plus de place possible pour loger leur moteur; c'est ainsi qu'ils ont pu parvenir à la puissance de 250 chevaux à 225 tours avec *ventilation forcée*. Un moteur à courant continu de même puissance occuperait moins de place, ou, inversement, pour ce même encombrement, il aurait une puissance sensiblement supérieure à celle du moteur monophasé. Bien qu'une telle comparaison ne soit pas justifiée, on ne peut s'empêcher de remarquer que, sur courant continu, on est parvenu à loger un moteur de 550 chevaux, sans ventilation forcée, sur chaque essieu de la locomotive du New-Yorker Central.

» Le déplacement vertical possible de l'essieu intérieur par rap-

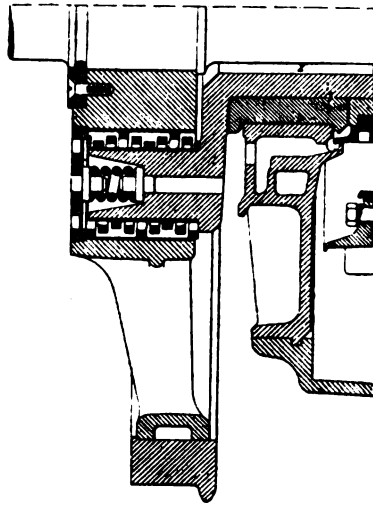


Fig. 11. — Mode de montage des manetons
et des ressorts dans les logements correspondants.

port à l'arbre creux est de 3,2 cm. Cet arbre tourne dans deux paliers

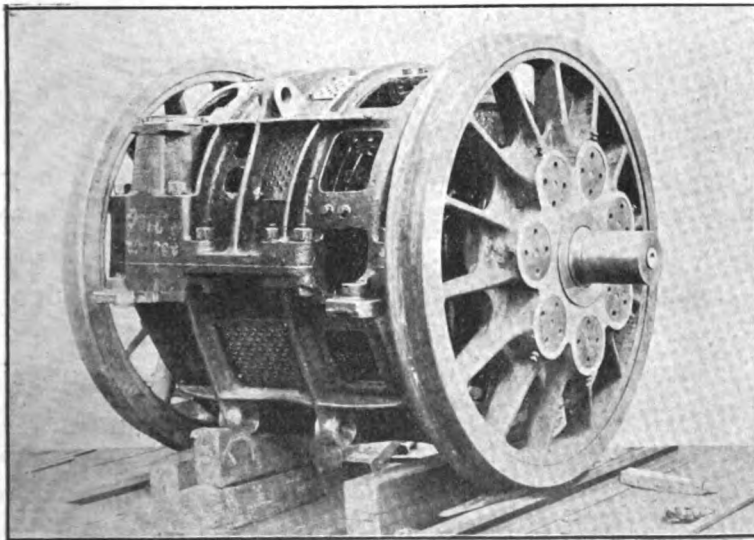


Fig. 12. — Vue d'un essieu avec son moteur.

solidaires de la carcasse inductrice, qui est fixée, par l'intermédiaire de ressorts, à un cadre en acier supporté par les boîtes à

graisse. Cette suspension est nettement visible sur la figure 13, qui représente un bogie complet. Le dispositif adopté permet de réaliser une bonne suspension de toutes les parties des moteurs et un entraînement élastique des roues ; l'idée d'appuyer les moteurs sur un cadre de suspension bien distinct de la locomotive semble excellente, les mouvements de balancement ou les oscillations de la machine ne pouvant ainsi agir sur les moteurs.

» Les moteurs sont reliés par deux en série ; un tel groupe absorbe

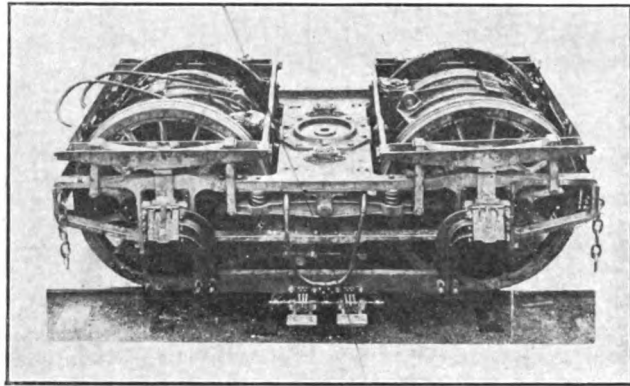


Fig. 13. — Vue d'un bogie complet.

450 volts sur courant alternatif et 600 volts sur courant continu. La construction de ces moteurs est semblable à celle des précédents, sauf l'adoption d'une ventilation artificielle produite par une circulation d'air fournie par deux ventilateurs ; cette ventilation artificielle donne d'excellents résultats pour le refroidissement des moteurs et empêche l'encrassement provenant d'une accumulation de poussières.

» Comme cela a été dit plus haut, le fil aérien de chaque voie est alimenté sous 11 000 volts. Le courant monophasé est recueilli par deux archets du type pantographe ; il passe dans deux transformateurs qui abaissent la tension et portent, au secondaire, six prises de courant correspondant à différentes tensions. Les primaires des transformateurs sont reliés en parallèle, mais chaque secondaire alimente normalement la paire de moteurs d'un bogie avec laquelle il forme une unité séparée. Le passage d'une vitesse à la suivante est effectué, sans interruption du courant, par le procédé ordinaire

avec résistance préventive décrit ci-dessus. La commande et le réglage des moteurs sont assurés par le système électropneumatique avec de l'air comprimé à 6 atmosphères et un courant local à 14 volts fourni par une batterie de sept éléments. La construction et la disposition des contacteurs sont légèrement différentes de celles employées sur courant continu, en vue du bon fonctionnement de ces appareils sur du courant alternatif. Comme organes de prises de courant, chaque locomotive porte, outre les deux archets pour la marche sur courant monophasé, quatre sabots de troisième rail pour le fonctionnement sur courant continu.

» Une locomotive peut remorquer un train de 200 à 250 tonnes à une vitesse commerciale de 42 km à l'heure; la vitesse maxima est d'environ 70 km à l'heure. Pour les trains plus lourds, on accouple ensemble deux locomotives, dont la marche est réglée par le mécanicien de tête.

» *Ligne du tunnel de Sarnia.* — Une autre ligne américaine, exploitée au moyen de locomotives monophasées de grande puissance, est celle du tunnel de Sarnia (Michigan) passant sous le lit d'un fleuve. Le tronçon équipé électriquement a une longueur de 6 km; les locomotives doivent pouvoir remorquer des trains de 500 tonnes sur des rampes d'accès de 2 pour 100. Le fil aérien est alimenté par du courant monophasé à 3300 volts et 25 périodes. Une locomotive consiste en deux unités accouplées; chaque unité possède trois essieux attaqués chacun par un moteur de 250 chevaux. Un groupe de deux unités pèse 125 tonnes et peut développer un effort de traction de 10 000 kg aux crochets pour une vitesse de 16 km à l'heure. Le réglage des moteurs est toujours le même que précédemment et est effectué au moyen du système électropneumatique.

Installations faites par la General Electric Co.

» A côté de la Compagnie américaine Westinghouse, la General Electric Co a fait aussi quelques applications du moteur série monophasé à la traction. Le moteur série qu'elle emploie est semblable, d'une façon générale, à celui de la Compagnie Westinghouse, mais le circuit compensateur, au lieu d'être excité en série par le courant

total qui traverse le moteur, est fermé en court-circuit sur lui-même et est parcouru par les courants que tend à induire en lui le flux de réaction d'induit. Cet enroulement se comporte, en définitive, comme un véritable écran pour les flux nuisibles qu'il y a lieu de supprimer ⁽¹⁾.

» *Ligne de Schenectady à Ballston.* — Une première ligne a été équipée entre Schenectady et Ballston. La *ligne aérienne* comprend

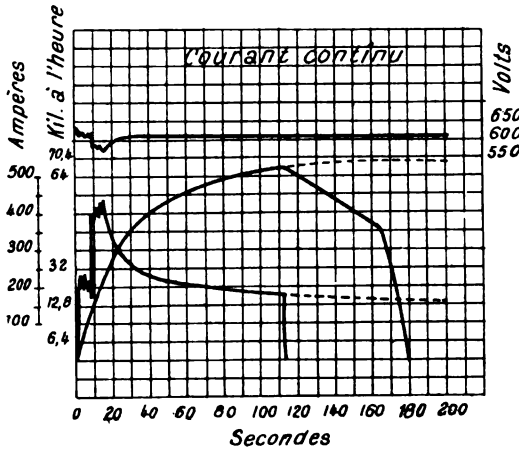


Fig. 14.

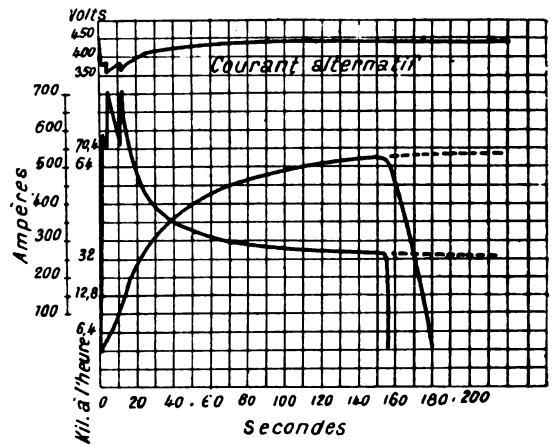


Fig. 15.

un fil de cuivre soutenu par un fil d'acier et est alimentée, en dehors des villes, par du courant monophasé à 2200 volts et 25 périodes. Les expériences faites ont montré que, pour du courant alternatif à 25 périodes, la résistance apparente des rails servant comme conducteur de retour est 6,5 fois plus élevée que la résistance ohmique : cette résistance apparente élevée crée une sérieuse objection contre l'emploi de courant monophasé à basse tension à l'intérieur des villes et amène à employer plutôt, dans ce cas, du courant continu.

» Chaque *automotrice* est munie de quatre moteurs de 50 chevaux bobinés pour 200 volts et groupés d'une façon permanente par deux en série. La ligne étant alimentée par du courant continu

(1) Dans les moteurs série qu'emploie actuellement la General Electric Co., l'enroulement compensateur est traversé en série par le courant du moteur.

à 600 volts à l'intérieur des villes, on a recours, pour l'obtention des différentes vitesses, à un réglage série parallèle des deux groupes de moteurs. La tension du courant monophasé est abaissée pour cela à la valeur invariable de 400 volts par un transformateur placé sous la voiture.

» L'organe de manœuvre est un contrôleur ordinaire série-paral-

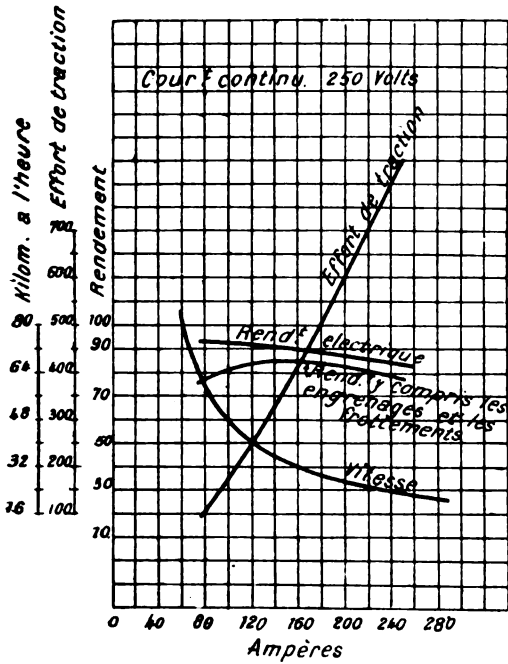


Fig. 16.

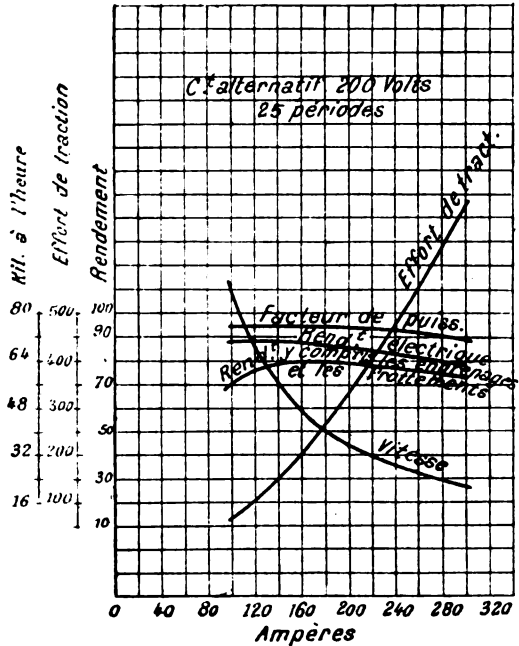


Fig. 17.

lèle avec résistances intermédiaires; on lui a adjoint un commutateur pour modifier les connexions des inducteurs, fermer ou rompre le circuit du transformateur, etc., quand on passe de la marche sur courant monophasé à la marche sur courant continu et inversement.

» On obtient la même vitesse en alimentant les moteurs sous 200 volts en monophasé ou sur 300 volts en continu. Les figures 14, 15, 16 et 17 donnent les courbes caractéristiques d'un moteur fonctionnant sur courant continu et sur courant alternatif et les courbes caractéristiques d'une automotrice dans les mêmes conditions.

» *Ligne de Bloomington, Pontiac et Joliet.* — Une seconde ligne,

équipée par la General Electric Co, est celle de Bloomington, Pontiac et Joliet, dont la longueur totale atteindra 144 km.

» La ligne de trôlet est composée de deux fils supportés, comme pour les tramways, par des fils d'acier transversaux. Elle est alimentée sous 3300 volts à la fréquence 25. Chaque automotrice porte quatre moteurs de 75 chevaux bobinés pour 200 volts et groupés tous quatre en série d'une façon permanente. Un transformateur abaisse la tension primaire et porte cinq prises de courant secondaires, permettant de modifier la tension entre 400 et 800 volts. Le contrôleur est muni d'une résistance, mise en circuit chaque fois que l'on passe d'une touche à la suivante; chaque doigt est muni d'une bobine de soufflage magnétique.

Installations faites par l'U. E. G. et l'A. E. G.

» Je passe maintenant aux principales applications faites par l'Allgemeine Elektrizitäts Gesellschaft et l'Union Elektrizitäts Gesellschaft, qui emploient le moteur à répulsion compensé (1).

» *Ligne de Nieder-Schönerweide à Spindlersfeld.* — Une ligne expérimentale avait été établie entre Nieder-Schönerweide et Spindlersfeld et est actuellement transportée à Gross-Lichterfeld. Le fil de trôlet est à suspension caténaire et reçoit du courant monophasé à 6000 volts et à 25 périodes. Chaque automotrice porte, sur l'un des bogies, deux moteurs tétrapolaires de 100 chevaux alimentés par un transformateur muni de plusieurs prises de courant secondaires. Le réglage des moteurs s'effectue entièrement sur le circuit à basse tension; à l'arrêt, on ouvre simplement ce circuit sans débrancher le circuit à haute tension dans lequel passe un courant extrêmement faible. Pour démarrer, on ferme le circuit sur la première touche du secondaire du transformateur, puis successivement sur les différentes touches jusqu'à la dernière.

(1) En Allemagne et en Autriche, la construction de ces moteurs relève des brevets Winter-Eichberg. Dans les autres pays, elle relève des brevets de notre collègue, M. Marius-Latour, bien connu maintenant par ses remarquables travaux sur les machines à collecteur.

» Ces différentes manœuvres sont effectuées par des contacteurs électromagnétiques établis d'après le système à unités multiples de l'Union Elektrizitäts Gesellschaft. L'inverseur est commandé par deux solénoïdes.

» Il n'est peut-être pas superflu de rappeler, en quelques mots, le *principe du moteur dit à répulsion compensé*. La figure 18 repré-

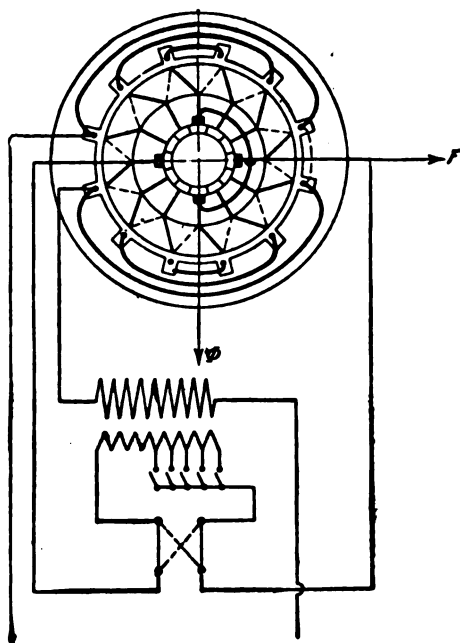


Fig. 18.

sente schématiquement les enroulements d'un tel moteur supposé bipolaire. L'inducteur, en tôles, porte un enroulement uniformément réparti placé dans des encoches. L'induit ne contient pas de jonctions résistantes sur le collecteur et est identique à un induit à courant continu. Sur le collecteur, frottent deux systèmes de balais dont les axes sont perpendiculaires l'un à l'autre. Les balais de l'un des systèmes, dont l'axe coïncide avec celui de l'enroulement du stator, sont court-circuités et sont parcourus par le courant de travail induit par le champ Φ dirigé suivant l'axe de l'enroulement du stator. Les balais du second système sont parcourus en série par le courant total, ou bien sont reliés à l'enroulement secondaire d'un transformateur dit *transformateur d'excitation*, placé dans le circuit

principal (1) : ils sont traversés par le courant magnétisant qui produit un champ transversal perpendiculaire au premier. Ce champ, réagissant sur les ampère-tours du stator, produit le couple actif. La force électromotrice nuisible produite dans une bobine en court-circuit par l'induction statique de l'un des champs F est entièrement compensée par la force électromotrice due à la rotation dans le second champ Φ . La compensation obtenue dans ce moteur est telle que l'on peut, sans inconvénient, donner à l'entrefer une valeur aussi élevée que dans les moteurs à courant continu et employer sur le stator des encoches ouvertes au lieu d'encoches fermées. J'ai rappelé déjà que le moteur à répulsion compensé convient pour des fréquences de 40 à 50 périodes par exemple.

» La figure 19 représente un moteur de l'A. E. G. ouvert.

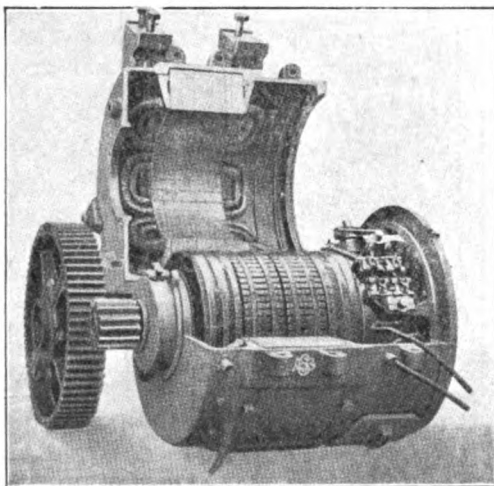


Fig. 19. — Moteur à répulsion compensé de l'A. E. G.

» *Ligne du Borinage.* — Un réseau étendu a été équipé en Belgique par l'A. E. G. : c'est le réseau des chemins de fer vicinaux du Borinage, établis avec une voie étroite de 1 m de largeur. La longueur totale atteindra 129 km; le courant monophasé employé sur la ligne a une tension de 600 volts et une fréquence de 40 périodes. L'emploi des rails de roulement comme conducteur de

(1) Ce transformateur, à rapport variable, permet de modifier l'intensité du courant qui passe dans le circuit des balais série.

retour ayant été interdit, on a dû avoir recours à deux fils aériens et deux trôlets.

» Chaque automotrice porte deux moteurs de 40 chevaux à six pôles : le réglage de ces moteurs est effectué par la méthode série-parallèle combinée avec réglage par autotransformateur. Des résistances sont insérées au moment du passage de la marche en série à la marche en parallèle.

» *Ligne de Hambourg à Altona.* — La plus récente installation dont l'A. E. G. fournit les automotrices est celle de Hambourg à Altona.

» L'équipement de la voie est fait par la Société Siemens-Schuckert et n'est que partiellement achevé.

» L'énergie électrique sera fournie par une usine génératrice établie près de la gare d'Altona et contenant des turbines à vapeur Brown-Boveri-Parsons qui entraînent des alternateurs Siemens-Schuckert et Lahmeyer.

» Le *fil de trôlet*, alimenté sous 6600 volts et 25 périodes, est supporté par une suspension caténaire avec câble d'acier auquel il est relié tous les 3 m. Dans les gares, la tension est abaissée à 300 volts.

» Chaque *automotrice* est à six essieux et pèse 70 tonnes ; elle se compose de deux demi-voitures de 15 m, reliées par un court accouplement. Chaque demi-voiture repose sur un bogie à son extrémité extérieure et sur un essieu porteur à son extrémité intérieure. Une voiture double porte trois moteurs A. E. G. de 115 chevaux dont deux sont placés sur le bogie d'une demi-voiture et l'autre sur le bogie de la deuxième demi-voiture : il y a donc en tout trois essieux moteurs. L'essieu disponible sur le deuxième bogie porte un compresseur d'air. La ventilation des moteurs a été étudiée spécialement. Du côté du collecteur, l'arbre creux aspire de l'air frais qui traverse toutes les parties métalliques dans des canaux ménagés à cet effet, et ressort du côté opposé.

» Un *transformateur de réglage* reçoit au primaire le courant à 6000 volts et porte, au secondaire, des bornes correspondant à 300, 450 et 750 volts. Outre ce transformateur principal, il y a, pour chaque moteur, un transformateur d'excitation. On dispose de

cinq vitesses, obtenues par le fonctionnement de contacteurs électromagnétiques commandés par des circuits locaux que ferme un petit contrôleur.

» Un commutateur auxiliaire fonctionne lors des changements de tension d'alimentation (300 volts au lieu de 6000); ce commutateur est actionné par l'air comprimé et électromagnétiquement. Au moment où l'on relève, au moyen d'air comprimé, les archets à haute tension, l'air comprimé agit aussi sur le commutateur et l'amène à la position convenable. Quand, au contraire, on relève une perche à basse tension, et que celle-ci vient en contact avec le fil d'alimentation, le commutateur est actionné automatiquement et se place dans les positions correspondantes; la perche à basse tension ne peut jamais s'élever jusqu'à la hauteur de la ligne à haute tension, pour éviter tout accident. Les organes de prise de courant sont portés par la première demi-voiture qui soutient, outre la cabine du mécanicien, des appareils à basse et haute tension disposés dans deux compartiments séparés. L'autre demi-voiture contient une cabine de mécanicien et un compartiment renfermant des appareils à basse tension seulement. Chaque demi-voiture présente, en tout, 128 places disponibles.

Installation faite par la Compagnie Thomson-Houston.

» Le moteur à répulsion compensé a fait aussi en France l'objet d'une application expérimentale à la traction. La Société Thomson-Houston a équipé avec des moteurs de ce type le tramway du Clos Montholon. Bien que le fil de trôlet fût alimenté à 550 volts, conformément aux règlements, on avait équipé l'automotrice comme s'il s'agissait d'une application à haute tension. Les essieux étaient attaqués par deux moteurs de 50 chevaux à 300 volts et 25 périodes établis par M. Gratzmuller; l'un de ces moteurs est représenté par la figure 20. Le réglage de la vitesse était effectué par variations de la différence de potentiel aux bornes des moteurs, au moyen d'un transformateur à plusieurs bornes secondaires.

Installations faites par la Société Siemens-Schuckert.

» Je dirai quelques mots d'une installation effectuée par la

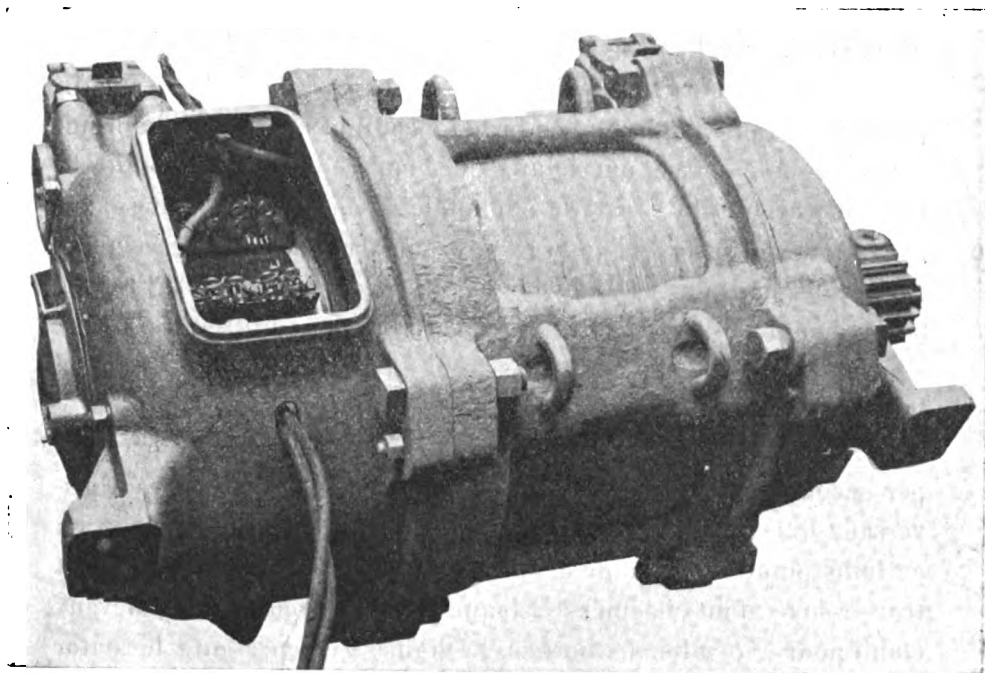


Fig. 20. — Moteur à répulsion compensé Thomson-Houston.

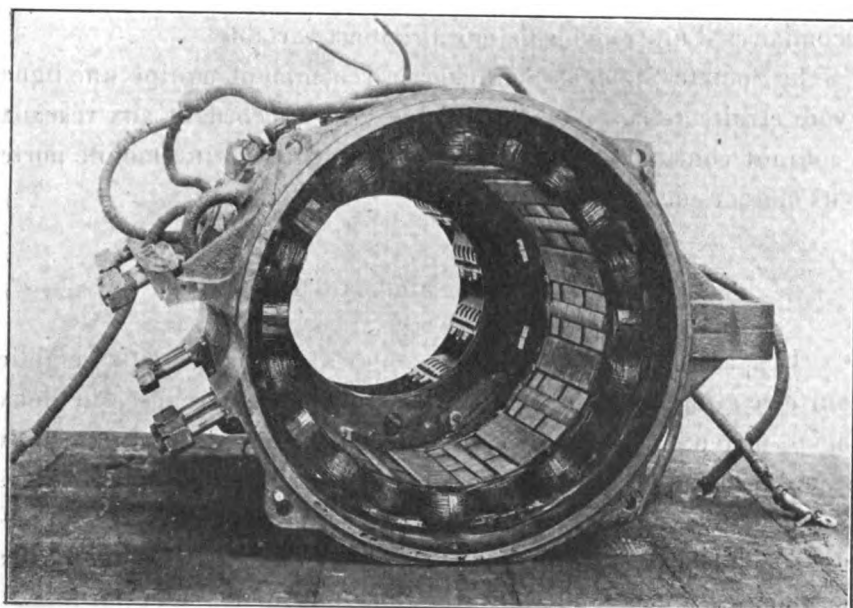


Fig. 21. — Stator d'un moteur Siemens-Schuckert.

Société Siemens-Schuckert sur la *ligne de 23 km de Murnau à Ober-Ammergau*, dont le profil est très accidenté.

» Dans le cas particulier dont il s'agit, les calculs faits sur un projet à courants triphasés, un projet à courant continu et un projet à courant monophasé, ont montré que, en prenant comme unité le prix de revient de l'installation totale à courant monophasé, on arrivait au chiffre de 1,16 pour les courants triphasés et de 1,25 pour le courant continu. Au point de vue du rendement total de l'installation compté aux roues motrices, on arrivait aux chiffres de 71 pour 100 pour le système monophasé, 66 pour 100 pour le système triphasé et 62 pour 100 pour le système continu.

» On a adopté du courant monophasé à 5000 volts et $16\frac{2}{3}$ périodes par seconde; le fil de trôlet est supporté par des fils d'acier transversaux fixés à des bras en console et est, en outre, suspendu en certains points à un câble d'acier supérieur. Les automotrices ont trois essieux dont chacun est attaqué par un moteur de 100 chevaux établi pour 250 volts aux bornes. La figure 21 représente le stator d'un de ces moteurs; on y distingue nettement les pôles de commutation et les pôles principaux. Le réglage de la vitesse est assuré par un contrôleur qui relie le circuit de traction aux différentes bobines secondaires d'un transformateur à rapport variable.

» La Société Siemens-Schuckert a récemment équipé une ligne à voie étroite reliant Vienne à Baden et se raccordant aux réseaux à courant continu des tramways locaux; chaque automobile porte deux moteurs de 40 chevaux.

Ligne d'essais des ateliers d'Oerlikon.

» Les ateliers d'Oerlikon ont construit une locomotive établie pour être alimentée sous 15 000 volts. Le châssis repose sur deux bogies à deux essieux. Chacun de ceux-ci porte, entre ses deux essieux, un moteur de 200 chevaux qui entraîne par des engrenages un arbre inférieur sur lequel est clavetée une manivelle avec contrepoids. Deux barres d'accouplement, reliant entre elles les manivelles des deux essieux d'un bogie, portent chacune en leur milieu un coussinet à glissière dans lequel tourne la manivelle du moteur correspondant. Par suite de la position des moteurs au milieu de

chaque bogie, celui-ci ne peut être muni d'un pivot central d'après le mode de construction habituel. Il est maintenu par des guidages

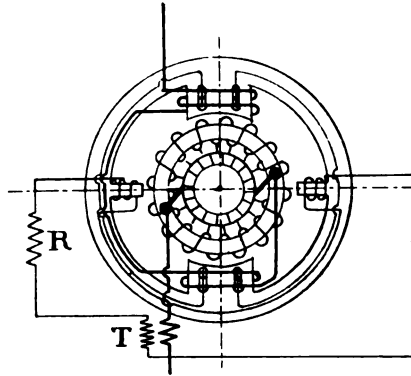


Fig. 22. — Schéma des connexions des enroulements d'un moteur Erlikon.

latéraux et par des tiges à ressorts, qui ne lui permettent de tourner qu'autour de son centre.

» Chaque moteur comprend un induit ordinaire à courant con-

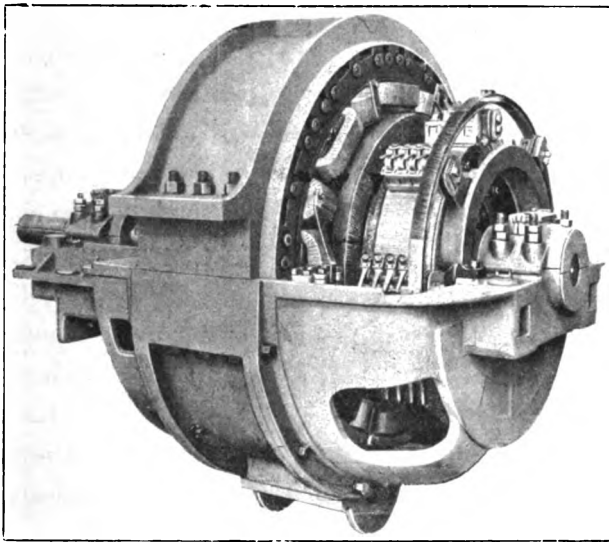


Fig. 23. — Moteur série monophasé Erlikon.

tinu et un inducteur en deux pièces portant huit pôles saillants et formé de tôles découpées. Chaque pôle principal est muni d'un enroulement compensateur réparti dans deux encoches et parcouru par le

courant principal. En outre, il y a huit pôles de commutation dont les bobines sont parcourues par un courant de phase et d'intensité telles qu'il induise, dans les bobines en court-circuit, une force électromotrice convenable pour neutraliser les forces électromotrices nuisibles à une bonne commutation. Le schéma des connexions d'un moteur, supposé bipolaire pour plus de simplicité, est indiqué par la figure 22; la figure 23 donne une vue d'un moteur de 200 chevaux.

» Les différentes vitesses de marche sont obtenues par variation de la tension aux bornes des moteurs produite, soit au moyen de deux transformateurs à rapport variable, soit au moyen d'un régulateur d'induction, adjoint à ces transformateurs.

» Les organes de prise de courant sont des archets latéraux système Huber, formés chacun d'un petit archet supporté par un parallélogramme articulé et frottant sur le fil de la ligne latérale contre lequel il s'appuie soit par côté, soit par-dessus. La ligne est établie d'une façon particulière en vue de l'emploi de cet appareil.

Expériences faites par l'État suédois.

» Pour terminer ces rapides descriptions, je rappelle que l'administration des Chemins de fer de l'État suédois procède, depuis plus d'une année, à des expériences très détaillées sur une voie expérimentale monophasée. Le matériel roulant consiste en une locomotive Siemens-Schuckert à trois moteurs de 110 chevaux, une locomotive Westinghouse à deux moteurs de 150 chevaux, et un train à unités multiples comprenant deux automotrices de l'A. E. G., à deux moteurs de 120 chevaux. La tension normalement employée sur le fil de travail est de 15000 volts: elle peut varier entre 3000 et 20000 volts pour les essais.

» La fréquence peut être modifiée entre 25 et 15 périodes par seconde. Les différents systèmes de suspension des fils de trôlet sont essayés sur différentes sections de la voie. La suspension caténaire est de plusieurs types; ou bien le fil est soutenu par un seul câble d'acier galvanisé de 6 mm de diamètre et la distance entre poteaux est de 50 m, ou bien le fil est soutenu par deux câbles d'acier de 6 mm, et la distance entre poteaux est de 60 m, ou bien le fil est soutenu par un seul câble d'acier de 9,5 mm, et les

poteaux sont distants de 75 m. Différents types d'organes de prise de courant, parmi lesquels l'archet latéral Huber, sont à l'essai.

» Le Gouvernement suédois a en vue l'électrification future de tous les chemins de fer, pour utiliser l'énorme quantité d'énergie disponible dans les chutes d'eau.

» On voit, d'après les rapides descriptions qui précèdent, que, malgré son origine très récente, ce nouveau venu, le système à courant monophasé, s'est déjà attiré de vives sympathies et a fait l'objet de nombreuses applications.

» Voyons quels sont, au point de vue général, ses avantages et ses inconvénients.

AVANTAGES DU SYSTÈME MONOPHASÉ.

» L'avantage capital que présente le système monophasé réside dans la *possibilité d'employer des tensions très élevées et un seul fil de travail* : quand la ligne est très longue, l'énergie électrique peut être transmise sous des tensions d'une trentaine de mille volts, ou plus, à des postes de transformateurs statiques, placés à de grandes distances les uns des autres, et alimentant le fil de trôlet. Les *extensions futures* d'une ligne peuvent être réalisées très *simplement et à peu de frais*.

» Les *moteurs série monophasés fonctionnent aussi bien sur courant continu* que sur courant monophasé, avantage précieux qui permet de raccorder les lignes intermédiaires aux réseaux urbains, de telle sorte que les voyageurs n'ont plus à se rendre à une gare, mais peuvent prendre le train sur un point quelconque de la ville.

» Ces moteurs possèdent une caractéristique semblable à celle des moteurs série à courant continu, ce qui est en général précieux pour la traction.

» Le *réglage de la vitesse* est effectué par des procédés simples, permettant une graduation aussi insensible que l'on veut; toutes les vitesses sont également économiques, et il n'y a pas d'énergie perdue dans des résistances.

INCONVÉNIENTS DU SYSTÈME MONOPHASÉ.

» Les inconvénients que l'on reproche au système monophasé sont les suivants :

» Au point de vue de l'usine génératrice, on ne peut employer de batterie tampon qu'en interposant entre elle et les barres générales un groupe de machines constitué par un moteur synchrone et une dynamo à courant continu fonctionnant chacun tantôt comme moteur, tantôt comme générateur.

» Au point de vue du matériel roulant, les *moteurs monophasés* sont, à couple égal, *plus lourds, plus volumineux et plus coûteux* que les moteurs à courant continu : d'une part, parce que *leur couple est pulsatoire* ; d'autre part, parce que l'on est obligé d'adopter des valeurs plus faibles de l'induction dans le fer ⁽¹⁾, et enfin parce que la carcasse en acier coulé ne sert à rien au point de vue magnétique et n'a pour but que de soutenir les tôles.

» L'*équipement général* d'une automotrice ou d'une locomotive est *plus lourd*. En outre, le *rendement* des moteurs monophasés est *inférieur* à celui des moteurs continus et leur *échauffement* est *plus grand*, à cause des pertes plus élevées dans le fer.

» A cet égard, les courbes des figures 14 et 15, indiquant les valeurs du rendement du moteur de la General Electric Co, montrent que celui-ci s'élève à 86 pour 100 sur courant continu et à 80 pour 100 sur courant monophasé.

» En réalité, ce dernier inconvénient semble peu important, car, si le rendement du système total, compté depuis les machines génératrices de l'usine centrale jusqu'aux roues des automotrices, est meilleur avec le système monophasé qu'avec le système continu, peu importe que le rendement des moteurs soit moins bon. Quant à l'échauffement plus grand, on peut en venir à bout en employant la ventilation forcée, tout comme dans les transformateurs fixes.

» Un autre inconvénient, quelquefois signalé, réside dans la nécessité d'employer, pour les moteurs monophasés, un *entrefer plus réduit* que pour les moteurs à courant continu ; cette remarque ne s'applique qu'au moteur série, et il est incontestable qu'elle a une certaine valeur, bien qu'avec les procédés de construction actuels, on puisse employer de bien petits entrefers sans qu'il en résulte des réparations trop fréquentes.

» On a indiqué aussi que, le couple étant pulsatoire, le *poids*

(1) Puisqu'il faut tenir compte de l'induction maxima.

adhérent sur chaque essieu doit être prévu pour la valeur maxima du couple et non pour la valeur moyenne, d'où résulte une augmentation du poids nécessaire de la locomotive. D'une part, des calculs faits par Ossanna montrent que cet inconvénient est peu important ⁽¹⁾; d'autre part, l'emploi d'accouplements élastiques convenables, interposés entre l'induit du moteur et les roues motrices, permet de l'atténuer en grande partie ou même de le supprimer complètement; enfin, quand on emploie le système à unités multiples, on peut toujours disposer d'un poids adhérent supérieur à celui qui est nécessaire.

» Comme inconvénient, je signalerai aussi la *lenteur de démarrage* en courant monophasé comparé au démarrage en courant continu. Il est incontestable qu'il y a une différence sensible; cette différence est visible sur les courbes des figures 16 et 17 relatives à une automotrice de la General Electric C^o; on voit que la voiture a mis 110 secondes sur courant continu et 150 secondes sur courant monophasé pour atteindre la vitesse de 67 km à l'heure. On peut remédier à cette lenteur de démarrage en manœuvrant le contrôleur plus vite sur courant monophasé que sur courant continu ⁽²⁾.

» Enfin, les moteurs monophasés n'ayant pu être établis jusqu'à présent pour des tensions supérieures à 250 volts, il semble que la puissance maxima à laquelle on doit se limiter, pour ne pas atteindre des intensités de courant trop élevées, soit de 250 chevaux par moteur.

CONDITIONS D'EMPLOI DU SYSTÈME MONOPHASÉ.

» Il semble que le plus vaste champ d'application du système monophasé soit l'exploitation des jonctions interurbaines et, comme le signalait notre Président, M. Maurice Leblanc, l'exploitation des

⁽¹⁾ Dans des expériences récentes, faites sur un truck équipé avec deux moteurs monophasés de 100 chevaux, M. Bergman a trouvé que, pour la fréquence de 25 périodes généralement employée, l'effort de traction pour lequel les roues patinent est de 15 pour 100 plus faible avec du courant alternatif qu'avec du courant continu.

⁽²⁾ La durée du démarrage dépend évidemment de la façon dont a été établi le moteur, c'est-à-dire du couple de démarrage qu'il est capable d'exercer. Si le moteur peut être prévu pour un grand couple de démarrage, l'inconvénient signalé est fortement atténué.

chemins de fer départementaux ou vicinaux, sur lesquels la traction à vapeur donne, dans beaucoup de cas, de mauvais résultats.

» Au point de vue de la traction des trains lourds, il ne semble pas, malgré les applications faites en Amérique, que le système monophasé s'impose *a priori*.

» Je reviendrai plus en détail sur ces deux points dans la conclusion générale de cette étude.

IV. — SYSTÈME A COURANT CONTINU A HAUTE TENSION.

» Comme je l'ai signalé en retraçant l'historique du développement de la traction électrique, il s'est produit récemment un mouvement en faveur du courant continu à haute tension.

» Il peut arriver assez souvent que la longueur de la ligne à exploiter soit relativement peu considérable, tout en étant trop grande pour l'emploi de courant continu à 600 volts, et que la puissance électrique absorbée par chaque véhicule en marche ne soit pas trop élevée; il n'y a pas, alors, d'utilité à adopter sur le fil de trôlet une tension supérieure à 1500 ou 2000 volts. Dans ces conditions, il est plus avantageux de recourir à l'emploi de courant continu à haute tension, si l'on est en mesure d'établir des moteurs et appareils fonctionnant d'une façon satisfaisante sur cette tension. On profite alors des avantages connus du moteur à courant continu, on réalise des équipements plus légers et l'on a la possibilité d'employer des batteries tampons travaillant directement en parallèle avec les génératrices.

Ligne de Saint-Georges-de-Commiers à La Mure.

» Déjà, en 1903, une installation a été faite en France, par M. Thury, sur la ligne à voie étroite de 31 km de longueur reliant Saint-Georges-de-Commiers à La Mure. Deux fils aériens et les rails de roulement forment les trois fils d'un système de distribution à deux ponts, avec 1200 volts sur chaque pont. Le réglage de la vitesse est obtenu au moyen de résistances, qu'un appareil particulier permet de faire varier d'une façon extrêmement graduée. Cet

appareil comprend deux organes enclenchés ensemble de telle façon que chacun des huit crans du premier soit subdivisé en douze crans par le second ; le passage de l'arrêt à la pleine vitesse s'effectue donc en 96 crans. Aucune rupture de courant ne se produit dans le contrôleur ; toutes les ruptures ont lieu sur un interrupteur spécial distinct. Ce système a donné des résultats satisfaisants. Le seul inconvénient que présente l'emploi des moteurs groupés par deux en série sur chaque pont, réside dans l'élévation de tension qui peut se produire aux bornes de l'un d'eux en cas de patinage ; on pourrait d'ailleurs éviter cet inconvénient en accouplant ensemble les deux essieux de chaque bogie.

Ligne de Bonn à Cologne.

» En 1906 a été ouverte une ligne électrique reliant Bonn et Cologne par la rive gauche du Rhin. Cette ligne est exploitée au moyen de courant continu à 1000 volts et a été équipée par la Société Siemens-Schuckert.

» Les projets faits, d'une part, avec le système à courant monophasé à 6000 volts et, d'autre part, avec le système à courant continu à 1000 volts ont montré que le prix de l'équipement électrique des motrices serait 1,7 fois plus élevé dans le premier cas que dans le second et que le poids de cet équipement serait à peu près deux fois plus grand dans le premier cas que dans le second, entraînant ainsi une augmentation corrélative de l'énergie électrique dépensée. Les automotrices devant circuler sur les réseaux de Bonn et de Cologne, exploités avec du courant continu à 500 volts, il aurait fallu adopter, dans le cas du monophasé, un double équipement sur chaque motrice, d'où serait résultée une complication non négligeable. En outre, l'adoption du système à courant continu permettait l'emploi de batteries d'accumulateurs dont l'avantage a paru incontestable aux ingénieurs chargés de l'étude de cette installation. Ces batteries sont au nombre de trois et ont chacune une capacité de 330 ampères heure : l'une d'elles est placée à l'usine génératrice ; les deux autres en sont à une certaine distance et sont alimentées par des feeders munis de survolteurs.

» La ligne aérienne, que représente la figure 24, comprend un

double fil de trôlet, supporté par un câble d'acier. Un train de quatre voitures, dont deux automotrices, absorbant normalement

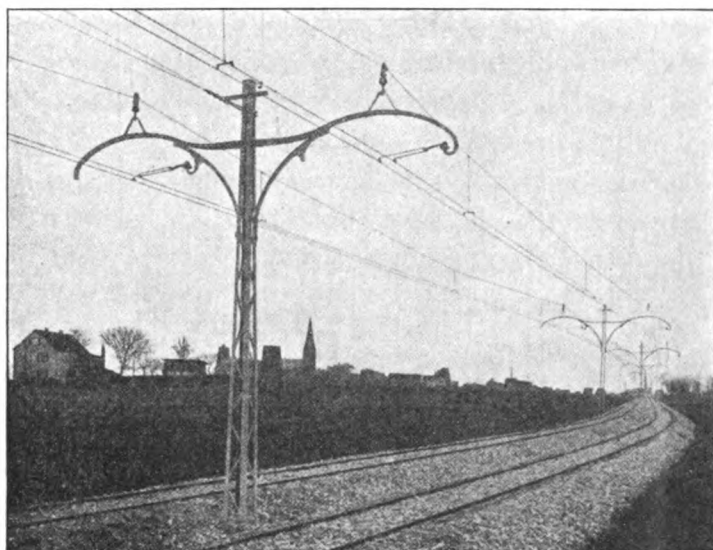


Fig. 24. — Equipement électrique de la voie de Bonn à Cologne.

600 ampères, et chaque automotrice portant deux archets de prise

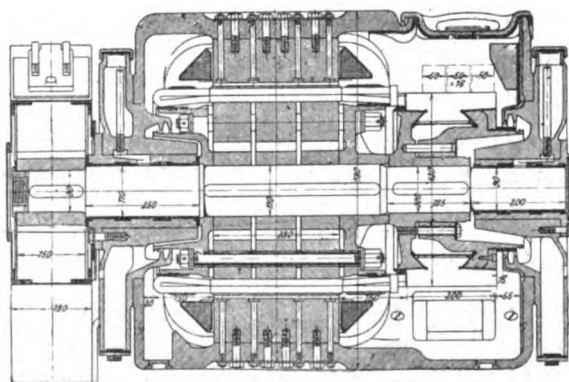


Fig. 25. — Moteur Siemens-Schuckert de 130 chevaux à 990 volts.

de courant, l'un de ces appareils n'a pas à recueillir plus de 150 ampères, soit 75 ampères par point de contact.

» La propulsion d'une automotrice est assurée par deux moteurs de 130 chevaux; ces moteurs tétrapolaires, dont les figures 25

roulement, qui servent de conducteur de retour. Ils sont alimentés par deux sous-stations, placées aux extrémités de la ligne : ces sous-stations contiennent chacune un groupe moteur générateur et une batterie tampon à 2000 volts.

» Chaque train pèse 320 tonnes au total et est remorqué par une locomotive de 56 tonnes munie de quatre moteurs de 160 chevaux. Ces moteurs et leurs engrenages sont graissés par une circulation d'huile sous pression, la pression étant produite par l'air comprimé qui assure le service des freins.

Ligne de Bellinzona à Mesocco.

» Le système à courant continu à haute tension a été adopté aussi pour l'équipement de la ligne à voie étroite de 1 m qui relie Bellinzona à Mesocco ; l'installation devait être ouverte à l'exploitation dans le courant de l'automne passé. La tension adoptée est de 1500 à 1600 volts. Chaque automotrice porte quatre moteurs de 75 chevaux construits par J. Rieter. Ces moteurs travaillent directement sur la haute tension, ils sont établis sans pôles de commutation, avec 5 lames de collecteur par encoche et une large zone neutre ; le rapport de l'arc polaire au pas polaire a pour valeur 0,67 ; le fer est très saturé, surtout dans les dents. Les expériences faites à 1700 volts sur ces moteurs ont montré que, même pour une puissance de 90 chevaux, la commutation est excellente et reste encore bonne quand on shunte de 30 pour 100 les inducteurs : la tension pourrait être élevée jusqu'à 2000 volts. D'après ces résultats, on voit que, s'il s'agissait de moteurs destinés à une voie de largeur normale au lieu d'une voie de 1 m, la place disponible pour l'isolement permettrait d'atteindre la tension de 2000 ou 2200 volts.

Installations projetées.

» La Société Siemens-Schuckert fait actuellement des expériences sur une voie d'essai alimentée par du courant continu à 3200 volts. Une batterie tampon a été établie pour cette tension.

» Enfin, la Compagnie américaine Electro-Dynamic, de Bayonne, a fait une série d'essais sur des moteurs à pôles de commutation et

a constaté une commutation excellente jusqu'à 2000 volts : la limite imposée à l'élévation de la tension dépend donc uniquement de la question de l'isolement.

» En ce qui concerne les génératrices destinées à alimenter la ligne à courant continu à haute tension, on peut signaler que, grâce à l'adoption de grandes vitesses de rotation (turbines à vapeur) et à l'emploi de pôles de commutation, la construction de ces machines ne présente plus de trop grandes difficultés. M. Hobart publiait dernièrement le projet d'une dynamo de 1000 kilowatts à 1000 volts, tournant à 1000 tours, et indiquait qu'un projet analogue lui avait permis d'établir avec succès une génératrice de 4000 kilowatts à 4000 volts et 500 tours par minute.

Expériences pour l'électrification du Métropolitain de Vienne.

» Comme dernière application du système à courant continu à haute tension, on peut signaler les expériences faites par la Société Krizik en vue de l'électrification du chemin de fer métropolitain de Vienne, dont la longueur s'élève à 27,5 km. La tension d'alimentation est de 3000 volts ; elle est répartie sur deux ponts de 1500 volts constitués par deux fils aériens distants de 1,40 m et par les rails de retour. Loin de considérer l'emploi de trois conducteurs comme un inconvénient, la Société Krizik y trouve des avantages, en particulier dans la possibilité de continuer le service avec l'un des deux ponts seul en cas d'avarie à l'un des fils aériens. Ce système lui a déjà donné toute satisfaction sur la ligne de Tabor à Béchyne, fonctionnant avec 1400 volts entre fils extrêmes.

» Les deux fils aériens sont en contact avec deux frotteurs disposés l'un à l'avant et l'autre à l'arrière de la locomotive. Cette machine, établie pour remorquer un train de 130 tonnes (non compris son propre poids), est à deux essieux et à quatre moteurs ; chaque essieu est entraîné par un groupe de deux moteurs, placés de part et d'autre de lui, et attaquant la même roue dentée.

» Chaque moteur est établi pour une tension de 750 à 1000 volts, et ceux d'un même essieu sont reliés invariablement en série ; étant accouplés ensemble par les engrenages, ils ne peuvent avoir à subir aucune élévation de tension du fait d'un patinage, puisqu'ils

tournent tous deux à la même vitesse. Ces moteurs sont tétrapolaires et sont de construction ordinaire.

» Le réglage de la vitesse est effectué par la méthode série-parallèle. Les deux groupes de deux moteurs sont d'abord reliés en série et branchés sur un seul pont (1500 volts); le démarrage est assuré au moyen de résistances. Ensuite ces deux groupes en série sont

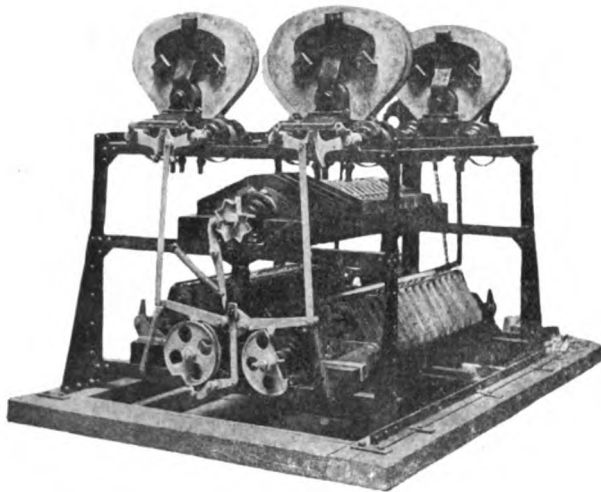


Fig. 27. — Appareil de manœuvre Krizik pour 3000 volts.

reliés aux conducteurs extrêmes, et le point intermédiaire de leur circuit est relié aux rails.

» L'appareil de manœuvre comprend des cylindres de contrôleur horizontaux accouplés par des chaînes à un volant de manœuvre; les ruptures de courant se produisent sur des interrupteurs spéciaux à haute tension, avec prises de contact en charbon, bobines de soufflage magnétique et écrans en matière incombustible formant cheminées. Cet appareil est représenté par la figure 27.

CONDITIONS D'EMPLOI DU SYSTÈME A COURANT CONTINU A HAUTE TENSION.

» D'après tout ce qui précède, on voit que le système à courant continu à haute tension est susceptible de rendre de bons services dans un certain nombre de cas particuliers. Ses avantages sont les mêmes que ceux du système à courant continu à basse tension, avec la possibilité d'exploiter, sans point d'alimentation intermé-

diaire, des longueurs de ligne relativement importantes (1).

» Si l'on voulait étendre ce système à des lignes de grande longueur, il faudrait évidemment recourir à l'emploi de sous-stations de transformation coûteuses, qui empêcheraient le système d'être rémunérateur pour les faibles trafics.

» Il semble qu'avec une tension de 1500 volts, la possibilité d'un arc entre balais ou d'un court-circuit au collecteur d'un moteur soit à redouter et constitue un inconvénient important. Il est vrai que le problème peut être résolu, comme l'a fait la maison Krizik, par l'emploi de plusieurs moteurs en série.

V. — CONCLUSIONS GÉNÉRALES.

» La traction électrique présente, sur la traction à vapeur, certains avantages importants. Ces avantages se manifestent par l'accroissement considérable de trafic constaté sur les lignes électrifiées. On pourrait citer de nombreux exemples de cet accroissement : sur le Chemin de fer de Manhattan, à New-York, le trafic a augmenté de 50 pour 100 dans la première année et les frais d'exploitation sont tombés de 55,79 à 40,2 pour 100 des recettes brutes. Sur la ligne Milan-Gallarate-Varèze, l'accroissement de trafic a été de 170 pour 100 en 3 ans. Ce résultat provient surtout de ce que l'emploi de *la traction électrique permet une méthode rationnelle d'exploitation*, avec des convois fréquents et relativement légers ; les trains sont plus rapprochés, plus rapides et plus confortables qu'avec la traction à vapeur.

» Au point de vue des dépenses de charbon, qui d'ailleurs constituent à peine, en général, 20 pour 100 des dépenses totales d'exploitation d'une Compagnie de Chemins de fer, il est facile de voir que, malgré les multiples transformations de l'énergie, on arrive à peu près aux mêmes chiffres avec la traction électrique qu'avec la traction à vapeur ; en effet, le rendement total des locomotives est certainement inférieur à celui des machines fixes ; d'autre part, la mise en pression ou le maintien des feux des locomotives

(1) On a vu, au début, que la longueur croît comme le carré de la tension.

consomme, en pure perte, une quantité importante de combustible. Les conditions sont évidemment tout à fait favorables à la traction électrique, lorsqu'on dispose d'énergie hydraulique sous forme de chutes d'eau.

» Au point de vue de la vitesse, il ne faut pas s'attendre à voir réaliser avec la traction électrique des vitesses maxima supérieures à celles qu'atteignent les locomotives à vapeur, mais, par suite de la valeur très élevée de l'accélération que l'on peut obtenir avec les trains électriques, les démarrages sont très rapides et la vitesse moyenne diffère peu de la vitesse maxima.

» Au point de vue de la sécurité d'exploitation, il est évident que la locomotive à vapeur, actuellement très perfectionnée, présente très peu de chances d'avaries imprévues : avec des revisions suffisamment fréquentes, on peut obtenir le même résultat avec des machines électriques.

» En ce qui concerne la sécurité des trains en marche, la traction électrique se prête facilement à l'emploi de dispositifs capables d'empêcher les accidents; par exemple, on peut couper le courant sur certaines sections de voie.

» En ce qui concerne les abords de la voie, on peut signaler l'avantage que présente l'absence de toute escarbille susceptible de mettre le feu aux herbes et aux bois avoisinants (1).

» Ceci dit, il y a lieu de faire une rapide étude comparative des différents systèmes de traction électrique, dont le principe et les applications ont été développés dans ce qui précède. Pour être complète, cette étude comparative doit porter :

» 1° Sur les frais d'équipement de la voie et du matériel roulant;

» 2° Sur les dépenses d'exploitation, non compris les dépenses d'énergie électrique;

» 3° Sur le rendement de chaque système, dont dépendent les dépenses d'énergie électrique;

(1) En Amérique, les Compagnies de Chemins de fer employant des locomotives à vapeur sont obligées de payer de très grosses primes d'assurance pour le danger d'incendie.

» 4° Sur les propriétés particulières de chaque système.

» Je laisserai de côté les frais d'établissement de l'usine centrale génératrice, qui sont à peu près les mêmes pour les différents systèmes de traction. Cependant, je signale que, dans le cas du monophasé, si l'on emploie des alternateurs monophasés, l'usine coûtera plus cher qu'une usine à courants triphasés. Comme nous l'avons vu, il est d'ailleurs facile, dans les installations monophasées, de produire des courants triphasés dont chaque phase alimente une section de ligne.

1° FRAIS D'ÉQUIPEMENT DE LA LIGNE ET DU MATÉRIEL ROULANT.

» Le *système à courant continu* à 600 volts, avec production de l'énergie électrique sous forme de courants polyphasés dans une usine centrale et conversion de ces courants dans des sous-stations qui alimentent la ligne, conduit à des frais d'installation extrêmement élevés. L'équipement du matériel roulant n'est pas très coûteux.

» Avec le *système triphasé*, les frais d'installation de la ligne sont beaucoup moins importants que dans le cas précédent. L'équipement du matériel roulant n'est pas très coûteux. Au total, les frais d'équipement de la ligne et du matériel roulant sont environ de 40 à 45 pour 100 inférieurs aux frais d'équipement relatifs au cas du courant continu à 600 volts.

» Avec le *système monophasé*, les frais d'installation de la ligne sont légèrement inférieurs aux précédents, c'est-à-dire sont considérablement inférieurs à ceux du système à courant continu. Par contre, l'équipement du matériel roulant est beaucoup plus coûteux que l'équipement correspondant à courant continu. Au total, il semble que les frais d'équipement de la ligne et du matériel roulant soient inférieurs d'environ 10 à 15 pour 100 à ceux du système continu.

» Enfin, avec le *système à courant continu à haute tension*, il semble que les frais totaux soient inférieurs à ceux du système monophasé, s'il s'agit d'une ligne dont la longueur ne dépasse pas une trentaine de kilomètres au maximum.

2° DÉPENSES D'EXPLOITATION, NON COMPRIS LES DÉPENSES D'ÉNERGIE
ÉLECTRIQUE.

» Évidemment, le *système continu* à 600 volts conduit à des dépenses d'exploitation très élevées, à cause de la surveillance et de l'entretien des sous-stations. En ce qui concerne le matériel roulant, la présence de collecteurs exige des revisions fréquentes et conduit à un entretien relativement élevé.

» Avec le *système triphasé*, la surveillance et l'entretien de la ligne entraînent à de faibles dépenses. Les moteurs triphasés étant les machines électriques les plus robustes, et n'ayant pas de collecteur, l'entretien du matériel roulant est très peu coûteux.

» Avec le *système monophasé*, l'entretien de la ligne est encore plus faible qu'avec le système triphasé; par contre, l'entretien du matériel roulant, avec moteurs à collecteur, transformateurs et organes à haute tension, est encore plus élevé que celui du matériel roulant à courant continu.

» Pour le *système continu à haute tension*, les dépenses doivent être à peu près du même ordre que pour le système monophasé.

3° RENDEMENT.

» Les nombreuses transformations de l'énergie, dans le *système continu* à 600 volts, abaissent forcément le rendement. Par contre, les moteurs à courant continu présentent un rendement supérieur⁽¹⁾ à celui des autres moteurs et sont les plus économiques au point de vue des pertes au démarrage.

» Dans le *système triphasé*, le rendement de la ligne est bon. Avec de faibles entrefers, le rendement des moteurs est bon, sauf pour le groupement en cascade. Au total, le rendement de l'ensemble⁽²⁾ est supérieur au rendement du système continu à 600 volts; le rendement total se trouve encore amélioré par la récupération.

(1) A égalité d'entrefers bien entendu, vis-à-vis du triphasé.

(2) C'est-à-dire le rendement compté depuis les barres générales de l'usine génératrice jusqu'aux roues motrices.

» Dans le *système monophasé*, le rendement de la ligne est aussi bon que dans le cas précédent. Par contre, le rendement des moteurs est beaucoup moins bon sur courant monophasé que sur courant continu aux basses charges : il est très mauvais, ainsi que le facteur de puissance.

» Une même automotrice, essayée sur la ligne de Schenectady à Ballston, a présenté une consommation de 63,5 watts-heure sur courant continu et de 78,1 watts-heure sur courant monophasé, soit 23 pour 100 en plus. La consommation par tonne-kilomètre constatée sur les automotrices de la ligne de Nieder-Schöneweide à Spindlersfeld s'est élevée à 45 watts-heure, pour une distance de 985 m entre les stations. Dans un projet établi par Ganz et C^e pour des conditions de trajet à peu près analogues et une distance de 906 m entre les stations, on est arrivé au chiffre de 31 watts-heure par tonne-kilomètre, chiffre que les constructeurs étaient prêts à garantir. On voit que la différence de consommation atteint 45 pour 100 en faveur du système triphasé par rapport au monophasé.

» Au total, malgré le rendement inférieur du matériel roulant, il est probable que le système monophasé présente un rendement d'ensemble un peu meilleur que celui du système continu à 600 volts.

» En ce qui concerne le *système continu à haute tension*, tel qu'il a été appliqué jusqu'à présent, il présente incontestablement un très bon rendement, mais, pour que la comparaison fût juste, il faudrait pouvoir raisonner sur une ligne d'une certaine longueur qui, forcément, devrait comprendre des sous-stations.

4° PROPRIÉTÉS PARTICULIÈRES DE CHAQUE SYSTÈME.

» D'après tout ce qui précède, on voit nettement qu'il est impossible de dire d'une façon absolue qu'un système est supérieur aux autres. Chacun d'eux présente des propriétés particulières qui le rendent précieux dans tel ou tel cas particulier. Comme le disait un jour M. Sprague, tout se ramène à une question de francs et de centimes, et le meilleur arbitre de la valeur d'un système est le dividende distribué aux actionnaires.

» On peut néanmoins citer quelques cas particuliers où l'un des systèmes semble s'appliquer mieux que les autres.

» Quand les arrêts doivent être très fréquents, il faut un grand couple de démarrage pour obtenir une bonne vitesse moyenne. Le couple de démarrage des moteurs série à courant continu étant très élevé, on est conduit à employer le système continu. Pour que l'exploitation soit rémunératrice, il faut que le trafic soit intense. Si ce n'est pas le cas, on est conduit à adopter le système monophasé.

» Pour un service de montagne, par exemple, où la récupération joue un rôle important et où il n'y a généralement pas un trafic considérable, on aura avantage à recourir au système triphasé. Il est juste d'ajouter que les nouveaux moteurs monophasés à caractéristique shunt, c'est-à-dire à vitesse de rotation à peu près constante, s'appliqueraient à ce cas, mais ils n'ont encore jamais fait l'objet d'un emploi pratique en traction, et le rendement serait moins bon qu'avec le système triphasé.

» Pour la remorque de trains lourds sur une ligne de trafic restreint, le système triphasé pourra souvent lutter avec avantage contre le système monophasé. En effet, il permet l'emploi de moteurs extrêmement robustes, de grande puissance, ne nécessitant que très peu d'entretien, et il présente dans son ensemble un très bon rendement.

» Quant au système monophasé, il s'applique admirablement à toutes les lignes où le trafic n'est pas très intense et où les frais d'installation et d'exploitation doivent être bas. Telles sont les jonctions interurbaines, les chemins de fer secondaires ou vicinaux, etc. Son emploi peut rendre d'immenses services et transformer les conditions d'existence dans un grand nombre de contrées, en créant des moyens de communication commodés, fréquents et rapides. J'ai déjà signalé l'avantage considérable que présente la possibilité de raccorder ces lignes aux réseaux urbains. Même pour l'exploitation de lignes importantes, le système monophasé pourra être fréquemment employé.

» En somme, c'est à lui que semble réservé le plus vaste champ d'applications et, quoique d'origine toute récente, il a déjà rendu de grands services. Il est juste d'ajouter que, précisément à cause

de cette origine récente, il n'a certainement pas encore dit son dernier mot et est susceptible de perfectionnements, qui en feront un système de traction tout à fait remarquable. »

M. le PRÉSIDENT. — « Je vous remercie beaucoup de votre très intéressante communication que vous avez su si bien documenter. Son annonce a fait venir nos collègues en grand nombre à cette réunion et vous aurez eu aussi le plaisir d'amorcer une sérieuse discussion, sur une question des plus importantes pour les électriciens.

» Déjà MM. Mazen, Marius Latour et de Marchena, qui sont de véritables spécialistes en matière de traction électrique, se sont fait inscrire.

» Mais pour permettre à cette discussion d'avoir toute l'ampleur nécessaire, étant donnée l'heure avancée, je vous demanderai, Messieurs, de bien vouloir la remettre au début de la séance prochaine. Cela nous permettra d'ailleurs de relire avec fruit la communication de M. de Valbreuze. » (*Applaudissements.*)

La séance est levée à 10^h 15^m du soir.

LISTE DES OUVRAGES

OFFERTS A LA SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ÉLECTRICIENS.

(Suite.)

**La Bibliothèque est ouverte aux Membres de la Société, tous les jours
de 2 heures à 5 heures, excepté les dimanches et jours de fêtes,
12, rue de Staël.**

France.

Annuaire pour l'an 1907, publié par le Bureau des Longitudes. Avec des
Notices scientifiques. Paris, Gauthier-Villars, 1907; 1 vol. in-16, broché.
(*Don de l'éditeur.*)

Manuel de l'apprenti et de l'amateur électricien. Première partie : *Prin-
cipes d'Électricité. Machines électriques*, par Robert MARIE. Paris, Bernard
Tignol, [s. d.] 1906; 1 vol. in-16, cartonné. (*Don de l'éditeur.*)

Précis d'Électricité, par Paul NIEWENGLOWSKI. Paris, Gauthier-Villars, 1906;
1 vol. grand in-8, broché. (*Encyclopédie des Travaux publics.*) (*Don
de l'éditeur.*)

BULLETIN
DE LA
SOCIÉTÉ INTERNATIONALE
DES
ÉLECTRICIENS.

SOMMAIRE.

Admissions, p. 78. — Discussion de la Communication de M. de Valbreuze sur la traction électrique (MM. **Marius Latour**, **Guéry** et **Gratzmuller**), p. 81. — Système de signes conventionnels pour la représentation des appareils et installations électriques (M. **Brunswick**), p. 103. — Les nouvelles lampes électriques au tungstène (MM. **Bainville** et **P. Janet**), p. 115.
BIBLIOGRAPHIE, p. 126.
OUVRAGES OFFERTS, p. 131.

COMPTE RENDU
DE LA
RÉUNION ORDINAIRE MENSUELLE

du mercredi 6 février 1907 ⁽¹⁾.

PRÉSIDENTE DE M. MAURICE LEBLANC.

La séance est ouverte à 8^h35^m du soir.

Le procès-verbal de la dernière Réunion mensuelle est adopté.

⁽¹⁾ La Société n'est pas solidaire des opinions émises par ses membres dans les discussions, ni responsable des Notes ou Mémoires publiés dans le *Bulletin*.

Il est donné connaissance des Ouvrages offerts à la Bibliothèque (voir p. 131) et des demandes d'admission suivantes :

MM.

Bertoye (Louis), Ingénieur attaché à la *Société grenobloise de force et de lumière*, 37, rue Diderot, à Grenoble (Isère). Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Besson (Paul-Jules-Auguste), Ingénieur des Arts et Manufactures, Administrateur délégué de la *Société centrale de produits chimiques*, ancien Membre du Comité de la *Société des Ingénieurs civils de France*, 59, rue Boissière, à Paris. Présenté par MM. Hillairet et Bochet.

Blanc (Jacques), Ingénieur au bureau technique de la *Maison Rousselle et Tournaire*, villa Montmajour, à Villeneuve-Saint-Georges (Seine-et-Oise). Présenté par MM. Daguerre et Devaux.

Boillot (Émile-Gustave), Chef monteur et conducteur, devis d'installation, réparation, bobinage, etc., à Téhéran (Perse). Présenté par MM. E. Sartiaux et Janet.

Boudreaux (Louis-François-Joseph), Fabricant de clichés galvanoplastiques, de balais et porte-balais électriques, contre-écrous Minn, moteurs pour automobiles, Président du *Syndicat des galvanoplastes*, Membre de la *Chambre syndicale de l'Automobile* et du *Comité technique de l'Hélice Club de France*, 8, rue Hautefeuille, à Paris. Présenté par MM. Leblanc et Labour.

Bureau (Henri), Élève à l'*École supérieure d'Électricité*, 218, boulevard Raspail, à Paris. Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Cany (Georges-Xavier), Ingénieur à la *Compagnie française des perles électriques Wiessmann*, 51, rue de la Procession, à Paris. Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Chalons (Louis-Charles), ancien Élève de l'École Polytechnique, 198, rue de Vaugirard, à Paris. Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Constantin (Louis-Joseph), Directeur de la *Société espagnole d'Électricité Alioth*, 2, rue Victoria, à Madrid (Espagne). Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Cosserat (François), Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, Ingénieur en chef à la *Compagnie des chemins de fer de l'Est*, 36, avenue de l'Observatoire, à Paris. Présenté par MM. Leblanc et Armagnat.

Curchod (Adrien), Ingénieur de la *Société industrielle des téléphones*, 6, rue Tardieu, à Paris. Présenté par MM. Janet et Ragonot.

Delorme (Abel), Ingénieur de la *Compania general de Electricidad*, à Granada (Espagne). Présenté par MM. Leblanc et Armagnat.

Desforges (Eugène), Ingénieur de la *Société anonyme Westinghouse*, 9, cours de Gourgue, à Bordeaux (Gironde). Présenté par MM. Leblanc et Tainturier.

Garfield (Alexandre-Stanley), Ingénieur en chef de la *Compagnie française Thomson-Houston*, Ingénieur-Conseil de la *General Electric Company de New-York* et de la *Compagnie Thomson-Houston de la Méditerranée*, 67, avenue de Malakoff, à Paris. Présenté par MM. Blondel et Latour.

Geneux (François), Directeur de la *Société des forces électriques de la Goule*, à Saint-Imier, canton de Berne (Suisse). Présenté par MM. Leblanc et Armagnat.

Genteur (Jules-Arthur), Constructeur électricien, 122, avenue Philippe-Auguste, à Paris. Présenté par MM. Grumberg et Meyer-May.

Herrgott (Joseph-Michel-Camille), Ingénieur aux *Ateliers de constructions hydro-élec-*

MM.

- triques E. Chaudel-Page*, La Sablière au Valdoie (territoire de Belfort). Présenté par MM. Brylinski et Zetter.
- Huguenin** (Ernest-Eugène), Directeur de la *Fabrique de peignes et lames de tissage*, 78 bis, rue Jeanne-d'Arc, à Lille (Nord). Présenté par MM. Leblanc et Armagnat.
- Kamenetsky** (Nicolas), Directeur-adjoint de la *Société électrique Westinghouse de Russie*, Newsky prospect, 11, à Saint-Petersbourg (Russie). Présenté par MM. Leblanc et Armagnat.
- Kleist** (baron Félix de), Ingénieur aux ateliers *Thomson-Houston*, 140, boulevard Raspail, à Paris. Présenté par MM. Rechniewski et Gratzmuller.
- Lyon** (Gustave-Frantz), Directeur gérant de la *Société Pleyel, Wolf, Lyon et C^{te}*, 22, rue Rochechouart, à Paris. Présenté par MM. Leblanc et Armagnat.
- Mascart** (Léon-François), Directeur de la *Société des établissements Henry Lepaute*, 5, rue Margueritte, à Paris. Présenté par MM. Mascart et Brillouin.
- Masson** (Georges), Ingénieur des Arts et Manufactures, ancien Ingénieur aux *Établissements métallurgiques d'Onnaing*, 2, rue Jacob, à Paris. Présenté par MM. Armagnat et Berthon.
- Nicolaïdi** (Constantin), Administrateur délégué de la *Compagnie hellénique d'électricité Thomson-Houston*, Administrateur de la *Compagnie des tramways d'Athènes et du Pirée*, 7, rue Néophyte Vamva, à Athènes (Grèce). Présenté par MM. Leblanc et Armagnat.
- Panine** (Wladimir), Ingénieur électricien, 12, rue de la Sorbonne, à Paris. Présenté par MM. Mauduit et Armagnat.
- Pionchon** (Joseph), Chargé de cours de Physique à la Faculté des Sciences de Dijon, 16, rue Berlier, à Dijon (Côte-d'Or). Présenté par MM. Mascart et Janet.
- Roche** (Louis-Edmond-Joseph), Ingénieur électricien, 45, avenue de Neuilly, à Neuilly-sur-Seine. Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Sekutovicz** (Ladislas-Arthur-Edmond), Ingénieur des Arts et Manufactures, Chef du Service de la traction des *Ateliers Thomson-Houston*, 17, rue de Baudreuil, à Meudon (Seine-et-Oise). Présenté par MM. Rechniewski et Gratzmuller.
- Stagocki** (Adolphe-Paul), Ingénieur à l'*Éclairage électrique*, 25, rue Montenotte, à Paris. Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Tournaire** (Charles-Émile), Administrateur délégué de la *Maison Rousselle et Tournaire*, 52, rue de Dunkerque, à Paris. Présenté par MM. Guillaume et Leblanc.
- Vigreux** (Charles-Antoine), Ingénieur-constructeur, *Maison C. Vigreux et L. Brillié*, 30, boulevard de Villiers, à Levallois-Perret (Seine). Présenté par MM. Bardy et Brillié.
- Ville le Roulx** (Pierre de la), Directeur de la *Société pour le travail électrique des métaux*, 90, boulevard Flandrin, à Passy. Présenté par MM. Leblanc et Armagnat.

Ces candidats sont élus membres titulaires de la Société internationale des Électriciens.

M. le PRÉSIDENT fait part du décès de M. *Paul Christofle*, Membre fondateur et exprime les regrets de la Société.

L'ordre du jour appelle les communications techniques.

**DISCUSSION DE LA COMMUNICATION DE M. DE VALBREUZE
SUR LA TRACTION ÉLECTRIQUE.**

M. MARIUS LATOUR. — « A la suite de l'intéressante Communication de M. de Valbreuze, il sera peut-être utile de faire une exposition comparée des différents types de moteurs à collecteur proposés pour la traction électrique par courant monophasé.

» Ces différents types de moteurs ont un aspect extérieur uniforme, en ce sens qu'ils comportent tous un rotor identique à un induit de dynamo à courant continu et un stator à encoches analogue à celui d'un moteur d'induction. Ils se ramènent à trois types :

- » I. Le moteur série;
- » II. Le moteur à répulsion;
- » III. Le moteur à répulsion compensé.

» Des affirmations quelquefois erronées ont été émises et répétées au sujet de ces machines. Il s'agit cependant de questions relativement très simples et la variété apparente des expositions théoriques, l'esprit plutôt commercial qui anime parfois les discussions techniques, ont surtout contribué à créer les malentendus. Le sujet étant aujourd'hui pratiquement épuisé, peut-être pourrions-nous rappeler ensemble à la séance de ce soir quelques remarques définitives. Nous envisagerons successivement les trois moteurs sus-indiqués au quadruple point de vue du facteur de puissance, du rendement, de la commutation et de l'encombrement. Nous envisagerons ensuite certains perfectionnements aux moteurs des types I et II.

MOTEUR SÉRIE.

» Le moteur série ABC (voir *fig. 1*) est constitué par un induit de dynamo à courant continu et un stator portant deux enroulements en quadrature montés en série : l'enroulement A sert à la

production du champ, l'enroulement B à la compensation de la réaction d'induit.

» *Facteur de puissance.* — Le moteur ABC étant traversé par un courant alternatif efficace I et tournant à sa vitesse normale, l'induit développe une force électromotrice wattée U , l'enroulement A une force électromotrice déwattée U_1 , l'enroulement B et l'induit C

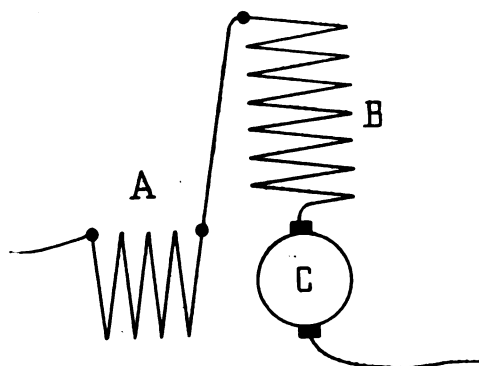


Fig. 1.

(qui ne peuvent, en aucun cas, compenser exactement tous leurs effets magnétiques par suite des fuites), une force électromotrice déwattée U_2 . Le facteur de puissance du moteur est alors

$$\cos \varphi = \frac{U}{\sqrt{U^2 + (U_1 + U_2)^2}}.$$

» U étant nécessairement donné puisque le produit (UI) représente la puissance réelle du moteur, il en résulte que l'excellence du facteur de puissance est subordonnée à la réduction des tensions U_1 et U_2 .

» Considérons d'abord la tension U_1 . Le nombre de pôles du moteur ne saurait la modifier. Elle est uniquement déterminée, en effet, par la valeur du flux total que l'on doit produire sous l'entrefer et les inductions admis dans le moteur donné. Elle peut cependant être réduite, de façon indirecte, en exagérant la vitesse normale du moteur. Avec une vitesse plus élevée, on aura recours, en effet, à un flux total moindre pour développer la tension wattée U .

» Considérons la tension U_2 . Elle dépend essentiellement de la grandeur des ampères-tours de B par rapport aux ampères-tours de C. Elle prend une importance minimum pour une certaine valeur des ampères-tours de B inférieure à celle des ampères-tours de C; mais cette valeur optimum ne convient pas pour assurer la bonne commutation du courant dans C.

» A ce dernier point de vue, il faut, au contraire, que les ampères-tours de B l'emportent sur les ampères-tours de C dans une telle proportion que l'on réalise un champ résultant véritablement nul sur la génératrice de la périphérie magnétique de C où s'opère la commutation. Dans ces conditions, la tension U_2 est notable et peut éventuellement être du même ordre que U_1 . L'augmentation du nombre de pôles est toutefois susceptible de la réduire.

» L'excellence du facteur de puissance dans un moteur série s'accuse, par suite, d'autant plus que la vitesse de rotation et, accessoirement, la polarité du moteur sont plus élevées.

» *Rendement.* — Les pertes dans le cuivre sont exactement ce qu'elles seraient pour un courant continu ayant l'intensité I . Il convient toutefois de noter qu'un courant alternatif efficace I , par suite de la saturation aux valeurs instantanées élevées de ce courant alternatif, donnera lieu à un couple moindre qu'un courant continu I .

» Quant aux pertes dans le fer, on a approximativement le droit de dire qu'elles sont la somme :

» 1° Des pertes pf_1 qui se produisent lorsque le moteur est traversé par un courant continu I à la vitesse considérée;

» 2° Des pertes pf_2 qui se produisent lorsque le moteur est traversé par un courant alternatif efficace I et reste calé.

» On voit que l'infériorité du fonctionnement en courant alternatif se manifeste par les extra-pertes pf_2 et qu'elle s'atténue par conséquent à mesure que la fréquence de courant d'alimentation diminue.

» On réduira les pertes dans le fer aux fréquences usuelles par l'utilisation d'inductions faibles et d'une polarité relativement élevée.

» *Commutation.* — Nous supposons la commutation du courant

assurée dans des conditions parfaites, par suite de l'enroulement B. Il reste encore à toute vitesse une force électromotrice parasite induite statiquement dans les sections en court-circuit par le champ variable du moteur.

» *Encombrement.* — L'encombrement latéral de l'induit du moteur série diminue manifestement avec le nombre de pôles. De même le diamètre extérieur du stator peut être réduit lorsque le nombre de pôles augmente.

MOTEUR A RÉPULSION.

» Considérons le moteur série ABC dans lequel la valeur des ampères-tours de B est réglée de telle façon que la tension U_2 soit entièrement reportée sur l'enroulement B, c'est-à-dire de telle façon qu'aucune tension déwattée ne soit induite dans C. On se

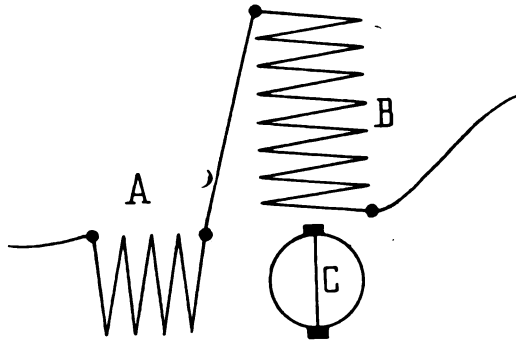


Fig. 2.

rend facilement compte que ce résultat est obtenu lorsque le coefficient d'induction mutuelle M entre B et C est égal au coefficient de self-induction L de C. Mettons alors les balais de l'induit C en court-circuit l'un sur l'autre et supprimons toute connexion directe entre le stator et le rotor. Nous obtenons ainsi le moteur à répulsion de la figure 2.

» Le courant I est développé dans C par induction au lieu d'y être introduit directement, mais cette circonstance ne saurait rien changer aux caractéristiques générales du moteur. Tout comme

dans le cas du moteur série apparaîtront les tensions dévattées U_1 et U_2 .

» Quant à la tension wattée U , elle est reportée dans B même par le mécanisme suivant :

» La rotation de C dans le champ de A développant dans C la force électromotrice U , la connexion de court-circuit entre balais livre passage à un courant spécial $J = \frac{U}{L\omega}$ déphasé de 90° par rapport à cette force électromotrice U . Ce courant induit statiquement dans B une force électromotrice $M\omega J = M\omega \frac{U}{L\omega} = \frac{M}{L} U = U$ en opposition avec le courant I .

» Le champ produit par le courant I , suivant l'axe de court-circuit, croît pour un courant donné comme la vitesse du moteur. Au synchronisme, il est égal au champ produit par A et l'on se trouve alors en présence d'un véritable champ tournant. En dehors du synchronisme, on dispose d'un champ elliptique. A des vitesses très hypersynchrones on se rend immédiatement compte que l'on aurait, suivant l'axe de B, une induction inadmissible au point de l'échauffement du moteur. Le moteur à répulsion est donc un moteur dont la vitesse rationnelle est le synchronisme. A cette vitesse, on peut dire que c'est un véritable alternateur en ce sens que, bien qu'un enroulement d'excitation A soit disposé sur le stator, le rotor se comporte comme un inducteur à pôles fixes et le stator comme un induit d'alternateur. C'est dans l'hypothèse où le moteur à répulsion travaille à sa vitesse rationnelle, le synchronisme, que nous envisagerons ses propriétés.

» *Facteur de puissance.* — Le facteur de puissance d'un moteur à répulsion sera manifestement celui d'un moteur série correspondant, ayant même vitesse de rotation et même polarité.

» Aux basses fréquences la possibilité d'employer, pour le moteur série, une vitesse et un nombre de pôles arbitraires, permettront de donner à ce dernier un facteur de puissance plus élevé que celui du moteur à répulsion correspondant.

» *Rendement.* — Les pertes dans le cuivre sont identiques dans le moteur à répulsion et dans le moteur série de construction équi-

valente. Les pertes additionnelles produites par le courant J sont négligeables.

» Nous avons dit que le moteur à répulsion était un alternateur monophasé. Il suit immédiatement de cette remarque que, si l'on adapte les éléments d'un moteur à répulsion pour constituer un moteur à courant continu, la puissance que l'on pourra obtenir avec les mêmes pertes dans le fer sera $\sqrt{2}$ fois plus grande. Sous une autre forme, on peut dire que les pertes dans le fer, dans le fonctionnement en moteur à répulsion, sont deux fois plus grandes que dans le fonctionnement en moteur à courant continu. Elles sont donc égales à $2pf_1$.

» La comparaison des rendements d'un moteur série et d'un moteur à répulsion sera donc réglée par le sens de l'inégalité

$$pf_1 + pf_2 \gtrless 2pf_1 \quad \text{soit} \quad pf_2 \gtrless pf_1.$$

» Mais un point est à noter. Le moteur à répulsion étant un alternateur monophasé assujéti à régler sa polarité sur la fréquence du courant d'alimentation, son rendement ne s'améliorera pas avec la diminution de la fréquence. Il ne tend, en aucune façon, comme celui du moteur série vers le rendement du moteur à courant continu lorsque la fréquence décroît indéfiniment.

» La conclusion de ces remarques est que, aux fréquences élevées, le moteur à répulsion a un rendement supérieur au moteur série; qu'il a, au contraire, un rendement inférieur à des fréquences plus basses. Des essais très précis pourraient seuls déterminer la fréquence critique à laquelle ils s'équivalent.

» *Commutation.* — Nous avons défini plus haut comment le rapport entre les valeurs des ampères-tours de B et de C était réglé : toute la tension U_2 étant reportée sur B. Théoriquement ce réglage correspond à une compensation parfaite au point de vue de la commutation (champ résultant nul à la périphérie magnétique de l'induit). Il faut cependant avoir soin, dans la pratique, de répartir convenablement l'enroulement B à la périphérie du stator pour que le réglage énoncé donne lieu à un champ résultant véritablement nul à l'endroit précis où s'opère la commutation. Nous supposons qu'une telle répartition est effectivement vérifiée. La supériorité du

moteur à répulsion sur le moteur série apparaît alors essentiellement dans la question de la commutation en vitesse. Dans ce dernier moteur, en effet, la force électromotrice de court-circuit développée par le champ variable de A se trouve, au synchronisme, être exactement utilisée pour commuter le courant J dû à la rotation de C. Elle ne peut plus par conséquent donner lieu à un courant de court-circuit parasite sous les balais.

» *Encombrement.* — Le moteur à répulsion étant un alternateur monophasé, il en résulte que son encombrement sera d'autant plus réduit que la fréquence sera plus élevée. L'exécution du moteur à répulsion pour de basses fréquences, à des vitesses économiques, deviendrait difficile. On retrouverait ici des complications analogues à celles qui se présenteraient dans la construction des turbo-alternateurs pour courants à basse fréquence.

MOTEUR A RÉPULSION COMPENSÉ.

» J'ai désigné, il y a quelques années, sous le nom de *moteur à répulsion compensé*, le moteur dans lequel le champ, au lieu d'être produit par un enroulement d'excitation A sur le stator, est produit par le rotor même.

» Pour pouvoir remplacer l'enroulement A par l'enroulement rotorique, il faut que ces deux enroulements correspondent à des nombres de spires équivalents. On imagine facilement que la tension au stator puisse être telle qu'elle donne lieu pour l'enroulement A à un nombre de spires s'accommodant de la substitution projetée. On aboutit alors au moteur représenté par la figure 3, dans lequel le nombre de spires de B est au nombre de spires de C comme, dans la figure 1, le nombre de spires de B est au nombre de spires de A.

» Le couple est alors produit entre le champ du rotor et les ampères-tours de B. Nous savons que, dans une certaine mesure, les ampères-tours de B excèdent les ampères-tours de C. Nous aurons donc, à courant égal, un couple un peu plus élevé que dans le moteur à répulsion simple. Il convient de remarquer que la nouvelle surface frottante introduite par les balais d'excitation, atteindra,

dans la pratique, une faible fraction de la surface frottante correspondant aux balais de court-circuit. Comme, en outre, la commutation sous les balais d'excitation ne souffrira d'aucune complication spéciale, les pertes au collecteur ne subiront guère à la fréquence 25 une augmentation de plus de 10 pour 100 du fait de l'addition de ces nouveaux balais. On se rend compte que nous économisons entièrement l'enroulement A.

» *Facteur de puissance.* — La tension déwattée U_1 est développée

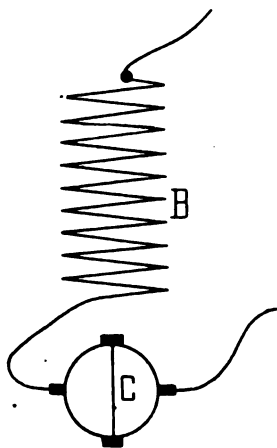


Fig. 3.

cette fois entre les balais d'excitation du rotor. J'ai montré, il y a quelques années, comment elle diminuait progressivement avec la vitesse, devenait nulle au synchronisme et changeait de signe au dessus de cette vitesse. Avec un taux d'hypersynchronisme assez faible, elle compensera bientôt la tension déwattée U_2 développée dans B et le moteur travaillera alors avec un facteur de puissance égal à l'unité.

» Au-dessus de cette vitesse on aura un décalage négatif.

» *Rendement.* — En principe le rendement d'un tel moteur est celui d'un moteur à répulsion. Il est, en fait, un peu supérieur parce que l'on utilise un stator uni-axial dont l'enroulement est réparti sur une partie de la périphérie et un double court-circuit sur le collecteur.

» *Commutation.* — La commutation aura les caractéristiques générales de celle d'un moteur à répulsion.

» *Encombrement.* — On gagne légèrement sur l'encombrement par suite de la présence d'un stator uni-axial et par suite du fait que le moteur a une puissance un peu plus élevée que le moteur à répulsion de dimensions équivalentes.

» Le moteur à répulsion compensé est un alternateur monophasé auto-exciteur appartenant à cette famille de machines dont nous nous sommes antérieurement occupés avec M. Heyland. L'excitation du rotor peut donc, avec un transformateur approprié, être montée en shunt au lieu d'être montée en série. Si la connexion shunt est établie en vitesse, elle permet la récupération dans les pentes au même titre que les moteurs d'induction triphasés.

» Un avantage des types de moteurs à répulsion est que, à tensions égales sur le collecteur, on dispose généralement de tensions plus élevées sur le stator et que l'on n'est par conséquent conduit, en aucun cas, à la manipulation d'intensités exagérées dans les appareils de contrôle.

PERFECTIONNEMENTS AUX MOTEURS SÉRIE ET AUX MOTEURS A RÉPULSION.

» Après avoir présenté les trois types de moteur à collecteur, il convient d'exposer également les tentatives heureuses qui ont été faites dans les deux voies suivantes :

» 1° Donner en vitesse au moteur série la commutation du moteur à répulsion ;

» 2° Donner en vitesse au moteur série et au moteur à répulsion un facteur de puissance égal à l'unité sans recourir à l'excitation par le rotor.

» *Moteur série à commutation parfaite.* — M. Behn-Eschenburg, M. Richter et moi-même avons imaginé un dispositif dans lequel on produit au-dessus des sections en court-circuit, en dehors du champ local de compensation, un champ déphasé de 90° par rapport au champ principal. On crée ainsi de façon artificielle le champ qui se trouve naturellement développé dans le moteur à répulsion par le

courant J. On a la possibilité d'ajuster ce champ pour des vitesses hypersynchrones du moteur et l'on cumule ainsi l'avantage des polarités élevées du moteur série avec celui d'une bonne commutation en vitesse du moteur à répulsion. Ce moteur série à commutation parfaite prendrait une importance considérable si l'on utilisait de basses fréquences pour la traction (12 à 15 périodes).

» M. Punga, M. Richter et moi-même avons imaginé, d'autre part, des dispositifs dans lesquels ce champ de commutation est produit par le rotor. Cette solution semble moins pratique.

» *Moteur à facteur de puissance égal à l'unité sans excitation rotorique.* — MM. Lehmann, Mac Allister, Béthenod et moi-même avons imaginé des dispositifs variés pour porter le facteur de puissance des moteurs série ou à répulsion à l'unité. M. Lehmann a déjà construit des moteurs pratiques.

» Je me permettrai de présenter une légère critique aux dispositifs de cette nature.

» Le facteur de puissance n'est ramené à l'unité, par ces dispositifs, qu'au prix d'un déphasage, artificiellement établi, entre le champ et les ampères-tours sur lequel ce champ réagit. Il en résulte comme un $\cos\varphi$ interne dans la machine, qui se traduit par une diminution notable du couple, et il est à craindre que la diminution de puissance relevée soit telle qu'elle fasse renoncer aux dispositifs préconisés, quelle que soit d'ailleurs leur ingéniosité.

» Des considérations précédentes il résulte que les moteurs les plus parfaits sont :

» Dans le genre série, le moteur possédant un champ auxiliaire déphasé capable de contrebalancer par induction dynamique la force électromotrice de court-circuit induite statiquement par le champ principal (c'est ce type de moteur qui a été définitivement adopté par la Maschinen Fabrik Oerlikon et les Siemens Schukert Werke).

» Dans le genre répulsion, le moteur à répulsion compensé (c'est le moteur définitivement adopté par l'Allgemeine Elektrizitäts Gesellschaft).

» Comme j'avais eu personnellement l'idée très précise de ces deux moteurs depuis plusieurs années, il pourra paraître surpre-

nant que je me sois attardé avec M. Heyland dans la voie des générateurs auto-exciteurs au lieu d'entrer résolument dans la voie parente, et industriellement plus importante, du matériel à collecteur pour traction. Cette circonstance paraîtra d'autant plus singulière que je reçus à l'époque des encouragements dans ce sens de la part d'ingénieurs tels que M. Pirani et M. Guilbert, à qui j'avais communiqué mes idées.

» C'est qu'en réalité la certitude de la réalisation d'une bonne commutation en vitesse ne pouvait me cacher les difficultés de la commutation au démarrage. Je me représentais que ces difficultés conduiraient à un échec industriel, et, en toute sincérité, on doit bien reconnaître aujourd'hui qu'elles constituent le véritable vice de fonctionnement des moteurs à collecteur.

» C'est pour garantir une commutation au démarrage acceptable que, l'on ne peut envisager que des rotors à très basse tension et que l'on est conduit à des collecteurs coûteux et volumineux ayant quelquefois des surfaces frottantes assez considérables, et c'est donc pour avoir une commutation au démarrage acceptable que l'on doit s'accommoder de pertes au collecteur plus élevées qu'en courant continu et que, dans le cas de moteur série, on doit tolérer la manipulation d'intensités exagérées dans les appareils de contrôle.

» Les courants alternatifs devaient nous débarrasser du collecteur et voilà qu'en fin de compte il a été dans des applications de premier ordre notre suprême ressource. Il a fallu alors le faire travailler dans des conditions plus pénibles que celles que l'on rencontre en courant continu.

» Cependant des moteurs monophasés depuis longtemps en service ont donné lieu à des conditions d'exploitation intéressantes. Aussi, Messieurs, s'il est vrai que, dans cette question des moteurs à collecteur, l'optimisme de beaucoup était susceptible de reposer sur une compréhension imparfaite du sujet, je ne dois pas moins reconnaître aujourd'hui que mon inquiétude d'autrefois relevait d'un respect un peu exagéré pour des commutations linéaires et des champs sinusoïdaux. L'industrie est plus brutale, les matériaux y sont volontiers malmenés et la considération, dans les machines, des harmonies secrètes que l'on voudrait y voir toujours régner passe bien après celle des conditions économiques.

» Puisqu'il semble donc aujourd'hui démontré que la traction par courant monophasé avec des moteurs à collecteur se présente, dans bien des cas, comme étant économiquement la plus avantageuse, il est urgent de construire de pareils moteurs et l'avenir des systèmes proposés nous paraît assuré. »

M. le PRÉSIDENT remercie M. Marius Latour et le félicite des importants progrès que lui doit la traction électrique par moteurs à collecteurs.

M. GUÉRY. — « Messieurs, permettez-moi d'ajouter quelques réflexions aux remarques de M. de Valbreuze sur l'emploi des batteries-tamppons en traction. Tout d'abord, il faut bien reconnaître que la plupart des électriciens n'accordent aux accumulateurs qu'une estime modérée. Ce manque de sympathie provient-il de ce qu'ils ne savent pas se servir des batteries qu'on met entre leurs mains ? Toujours est-il que, à tort ou à raison, ils attribuent aux plaques de leurs éléments d'accumulateurs une durée très éphémère et se croient obligés de prévoir pour leur entretien un taux annuel qui atteint 10 pour 100 du prix d'achat.

» Si encore la dépense de premier établissement était minime ; or, non seulement les éléments eux-mêmes sont coûteux, mais encore leur encombrement est tel qu'ils exigent des locaux très vastes. De plus, l'emploi onéreux de survolteurs est à peu près obligatoire. De sorte que, si l'on définit la puissance d'une batterie comme correspondant à la décharge en 1 heure, le kilowatt d'accumulateurs coûte sensiblement deux fois plus cher que le kilowatt de groupes de transformation.

» Les inconvénients que je viens d'énoncer sont-ils compensés par des avantages considérables au point de vue de l'économie dans l'installation des machines et des lignes et dans la consommation de combustible que pourrait permettre l'emploi de batteries ? Celles-ci procurent-elles à l'exploitation des facilités et une sécurité de nature à primer toute autre considération ? C'est ce que je vais chercher à discerner rapidement avec vous, en me plaçant particulièrement dans les conditions les plus modernes de production et d'utilisation de l'énergie électrique : usines génératrices desservant des zones importantes et sous-stations de transformation.

» Lorsqu'une sous-station est munie d'une batterie-tampon, la puissance normale des machines peut être celle qui correspond à l'intensité moyenne fournie, augmentée, par exemple, d'un quart pour tenir compte de la réserve. Quant à la batterie, en toute rigueur, elle devrait être choisie de telle manière que son courant de charge fût égal à l'intensité moyenne à fournir. On arriverait ainsi à une batterie très forte.

» Admettons qu'on se contente d'une batterie de puissance égale à la moitié de la puissance totale des machines, réserve comprise. Cette batterie sera, en général, parfaitement suffisante comme tampon, à la condition d'employer un survolteur-dévolteur.

» Comme réservoir, en cas d'arrêt des machines, que peut-on attendre d'une telle batterie?

» Dans les conditions de charge où elle se trouve quand elle fonctionne en tampon, on peut tout au plus lui demander les deux tiers de sa capacité. C'est une durée de 25 minutes de fonctionnement que l'on assure ainsi, à la condition toutefois que la batterie soit encore jeune et en bon état d'entretien, car en vieillissant elle aura perdu une partie notable de sa capacité.

» Ces 25 minutes sont-elles suffisantes pour parer aux éventualités les plus probables?

» Oui, si les réserves des stations génératrices et du réseau à haute tension ont été convenablement prévues; en 25 minutes, on peut changer de machine ou de ligne.

» Donc les batteries jouent, d'une façon à peu près satisfaisante, un double rôle, celui de tampon, celui de réservoir.

» La batterie-tampon est-elle absolument nécessaire?

» Plaçons-nous d'abord au point de vue des sous-stations. La présence de la batterie double le prix de celles-ci. Donc pour le même prix total on pourrait, en se passant de batterie, avoir des machines plus fortes qui subiraient les à-coups.

» En réalité, du moins à mon avis, la puissance normale des machines ne devrait pas être augmentée sensiblement si l'on supprimait les batteries. Ce qu'on devrait accroître, c'est la capacité de surcharge. Les dispositions logiques pour assurer une bonne commutation paraissent enfin avoir fait leur chemin, de telle sorte qu'il ne paraît pas exagéré de demander que les machines puissent

supporter un débit double du normal sans détruire leurs collecteurs.

» Malheureusement les nécessités de la concurrence ont conduit les constructeurs à calculer leurs machines au plus juste : un kilowatt est un kilowatt ; la moindre surcharge ou la moindre surintensité sont fatales. C'est une tendance contre laquelle il faut réagir ; il est logique de payer la capacité de surcharge, mais toutefois, je pense, à un taux moins élevé que celui qu'il faudrait appliquer à un accroissement de la puissance normale, laquelle est définie uniquement par l'échauffement.

» J'insiste sur cette notion de la capacité de surcharge parce que M. de Valbreuze a dit, dans sa Communication, que, dans le cas où l'on ne fait pas usage de batteries-tampons, il faut prévoir des machines d'une puissance presque égale à la puissance maximale éventuelle et travaillant normalement bien au-dessous de leur pleine charge. C'est une conception très différente de la mienne. Ai-je tort ? Peut-être. Je ne suis pas assez constructeur pour me faire très affirmatif en pareille matière, mais je crois que l'on peut construire des machines ayant pour leur pleine charge normale, définie par une marche continue sans échauffement nuisible, un rendement à peu près égal à celui des machines à faible capacité de surcharge, et pouvant fournir une puissance très supérieure, le double au besoin, dans des conditions de fonctionnement satisfaisantes. Le moteur de traction et le survolteur-dévolteur sont d'ailleurs des modèles du genre, modèles qui seront sans nul doute encore perfectionnés.

» Nous pouvons donc admettre que, avec des machines bien adaptées à leur rôle, on pourrait édifier une sous-station sans accumulateurs à un prix inférieur à celui de la sous-station tamponnée.

» Mais, si nous supprimons les batteries, va-t-il falloir accroître la section des lignes primaires pour parer à des chutes de tension trop grandes occasionnées par des pointes de débit ? Pas toujours ; avec une tension primaire suffisamment élevée, on peut arriver à la limite d'utilisation de la section de cuivre sans craindre de trop fortes chutes de tension. Mais l'échauffement de la ligne peut intervenir dans certains cas.

» Prenons un exemple.

» Supposons une sous-station peu chargée, n'alimentant, par exemple, jamais plus d'un train. Dans ces conditions, l'intensité efficace peut atteindre 1,5 à 2 fois l'intensité moyenne. Admettons 1,5 fois. Pour un même échauffement de conducteurs, la perte en ligne sera sensiblement $(1,5)^{\frac{2}{3}} = 1,3$ fois plus grande si l'on n'emploie pas de batterie que si l'on en fait usage, et le poids de cuivre est $(1,5)^{\frac{4}{3}} = 1,7$ fois plus grand dans le premier cas que dans le second. Le cas d'un seul train sur la zone d'une sous-station est exceptionnel. Dès que le nombre moyen des trains alimentés atteint cinq ou six, les fluctuations de débit de la sous-station s'amortissent; l'intensité efficace du courant primaire est alors très peu supérieure à l'intensité moyenne, et l'absence de batterie ne pourrait conduire à un accroissement notable de la section de cuivre.

» Passons enfin aux centrales.

» C'est pour elles surtout que l'on recherche la charge uniforme, principalement lorsqu'elles comprennent des groupes électrogènes à vapeur.

» Il est bien évident que, si les variations de charge avaient pour effet d'obliger la centrale à mettre en service d'une manière continue des machines représentant une puissance normale très supérieure à la puissance moyenne demandée, la consommation de combustible pourrait atteindre un taux onéreux. C'est ici la capacité de surcharge des groupes électrogènes qui intervient. En ce qui concerne les générateurs d'électricité, il ne paraît pas y avoir de difficultés à donner à cette capacité de surcharge une valeur suffisante dans la plupart des cas. En est-il de même pour les machines motrices?

» Au point de vue de l'économie de combustible, il semble qu'il y ait intérêt, tout au moins quand on emploie des turbines et de la vapeur surchauffée, à adopter un régime normal de marche voisin de l'admission à gueule bée.

» Dans ces conditions, toute surcharge produira nécessairement une variation considérable de vitesse et par suite de fréquence qui pourra compromettre gravement le fonctionnement du réseau.

» La question qui se pose est donc celle-ci :

» Des deux dépenses suivantes, quelle est la plus grande? excès de consommation de groupes électrogènes prévus pour supporter des surcharges, ou bien dépense d'entretien et consommation d'énergie de batteries et de survolteurs absorbant les variations de charge.

» Un tel problème ne peut évidemment présenter une solution générale; toutefois, il semble bien que, pour de petites usines alimentant uniquement un réseau de traction, la balance doive pencher en faveur de l'emploi des batteries; au contraire, pour de grandes centrales, fournissant de l'énergie pour des applications variées et ayant par suite une bonne utilisation de leur puissance installée, d'une part, la valeur relative des variations de charge dues à la traction peut se trouver grandement atténuée; d'autre part, les consommations de combustible sont moins étroitement liées à la valeur de la puissance normale des groupes électrogènes.

» En effet, la consommation de vapeur d'une turbine peut être considérée comme comprenant deux parties : l'une fixe représentant la consommation à vide, l'autre proportionnelle à la puissance fournie.

» La partie fixe croît avec la puissance normale des turbines. Le coefficient de proportionnalité de la partie variable décroît quand la puissance normale augmente.

» Les consommations de deux groupes, l'un de 1500, l'autre de 1000 kilowatts, peuvent donc se représenter par un graphique tel que le suivant (*fig. 1*).

» Logiquement, les deux droites représentant les consommations des deux groupes doivent se couper entre les points M et M' figuratifs des consommations des deux groupes à pleine charge.

» Si l'utilisation des machines est bonne, c'est-à-dire si la puissance demandée se trouve dans le voisinage de la puissance normale du groupe le moins puissant, on voit que l'écart de consommation entre les deux groupes est faible. Cet écart devient d'autant plus grand que l'utilisation est moins bonne.

» Par contre, le groupe plus puissant consomme moins en surcharge.

» Si l'on avait affaire à des groupes de faible puissance, pour un même rapport entre les puissances normales, le rapport des ordonnées OA' et OA , représentant les consommations à vide, serait vraisemblablement plus grand que dans le cas des groupes de grande puissance, de sorte que l'écart de consommation des deux groupes, pour une même charge, se trouverait également plus grand.

» En résumé, il semble que, dans les conditions modernes d'exploitation des usines d'électricité, l'emploi des batteries d'accumu-

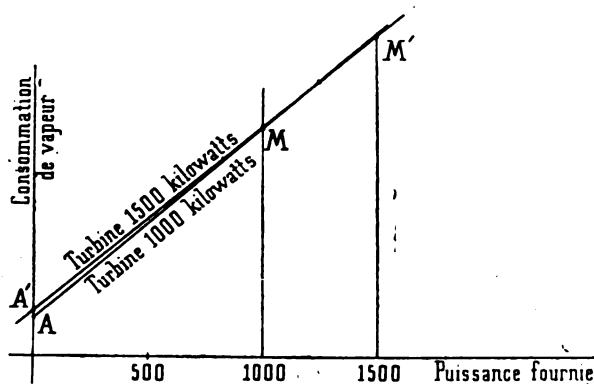


Fig. 1.

lateurs, s'il peut être justifié en tant que réserve d'énergie, ne paraît pas s'imposer d'une manière absolue et générale au point de vue de la régulation de la charge.

» Ajoutons que, comme conséquence, la suppression des batteries-tampons entraîne celle des survolteurs-dévolteurs, accessoires coûteux, compliqués et délicats; et l'on peut, si l'on emploie des batteries seulement comme réservoir, se contenter du simple survolteur de charge. Car on peut obtenir un tamponnement partiel en se passant de survolteur-dévolteur, à la condition d'employer des machines à forte chute de tension, ce qui est toujours réalisable.

» L'emploi des batteries comme réservoir est-il lui-même toujours indispensable? Il paraît bien l'être pour les lignes à trafic intense où un arrêt momentané de courant de traction paralysant toute l'exploitation peut produire des perturbations gênantes et même dangereuses et occasionner un manque à gagner notable.

» Les lignes à faible trafic s'accommoderont certainement mieux

d'interruptions qui sont généralement de faible durée et très rares.

» Parlant d'accumulateurs, je n'ai pas cru devoir spécifier que dans mon esprit ce que je viens de dire ne s'applique qu'à la traction par courant continu. Mais tous ceux qui s'intéressent au développement de la traction électrique n'ont certainement pas manqué de se poser la question suivante :

» Dans beaucoup d'installations de traction à courant continu, on met des batteries d'accumulateurs. Il est donc probable que ces batteries servent à quelque chose. Or, de très bons esprits s'engagent résolument dans la voie ouverte par le renouveau des alternomoteurs à collecteur. On peut donc penser que la traction monophasée va prendre un certain essor justifié par les facilités de distribution de l'énergie qu'elle procure.

» Alors il sera assez piquant de voir se développer le procédé signalé par M. de Valbreuze et qui consiste à adjoindre à l'usine centrale monophasée une commutatrice spéciale tamponnée par une batterie. Ou bien, ce qui est plus probable, le monophasé se passera de batteries-tampons et, dans ce cas, le continu commencera à s'apercevoir qu'il peut s'en passer aussi. S'il en advient ainsi, l'expérience aura confirmé cette idée qui ressort des exemples cités par M. de Valbreuze et sur laquelle j'ai cru devoir insister ce soir : c'est qu'à certaines conditions, on peut concevoir une installation de traction électrique fonctionnant convenablement sans batterie-tampon. »

M. GRATZMULLER. — « J'aurais désiré développer certains points des conditions de fonctionnement des moteurs monophasés à collecteur, mais différentes raisons m'en empêchent pour le moment. Cependant, j'espère pouvoir retenir votre attention quelques instants en vous exposant succinctement, dans ses plus grandes lignes, le principe d'un système de traction triphasée conçu en collaboration avec M. Bunet. Il est regrettable que le système original de MM. Auvert et Ferrand n'ait pas été présenté à notre Société. Le système dont il va être question est un peu de la famille du système de MM. Auvert et Ferrand.

» Il y a deux problèmes bien différents en traction :

» 1° Communiquer aussi rapidement que possible à des véhicules une vitesse notable, cette vitesse devant être presque aussitôt ramenée à zéro. Les périodes d'accélération et de freinage sont alors prédominantes. C'est le problème des tramways urbains et des métropolitains.

» 2° Transmettre des vitesses durables à des véhicules ayant à subir des arrêts très peu fréquents. C'est le problème des tramways interurbains et surtout de la grande traction.

» Le moteur monophasé fournit une solution s'adaptant particulièrement bien aux tramways départementaux. Il n'est pas du tout démontré, quant à présent, que le triphasé soit à rejeter pour la grande traction, malgré la complication du double fil aérien, surtout avec l'emploi des locomotives. Le collecteur procure la vitesse variable en alternatif dans des conditions relativement économiques d'énergie, mais des collecteurs volumineux, placés à un endroit peu abordable, sont une grave sujétion. Il semble au contraire que les moteurs polyphasés à rotors en court-circuit, et surtout les moteurs à cage d'écureuil, présenteraient des conditions particulières de sécurité et d'encombrement réduit, si l'on pouvait les démarrer et varier leur vitesse, quitte à introduire à nouveau le collecteur à lames, mais cette fois à un endroit choisi.

» Comme on sait obtenir facilement, aujourd'hui, plusieurs régimes économiques de vitesses stables d'un moteur d'induction à cage d'écureuil, par changement du nombre de pôles du stator, il reste à trouver le moyen de démarrer les moteurs polyphasés et de passer d'une vitesse à une autre.

» Une solution consiste à alimenter les moteurs à fréquence et à voltage variables.

» En effet, le couple, positif ou négatif, d'un moteur d'induction à rotor en court-circuit, ne dépend que du glissement positif ou négatif du rotor dans le champ résultant du moteur. Par suite, si à l'arrêt on fait tourner, en vitesse absolue, le champ résultant à une vitesse voisine de sa vitesse relative rapportée au rotor en marche normale, on obtiendra un couple égal au couple normal ; pour cela il faudra évidemment alimenter le stator avec un courant d'une fréquence égale à $g\omega$ si ω est la fréquence du réseau et g le glissement.

» Il est manifeste qu'à cet instant, non seulement la puissance réelle, qui se réduit aux pertes du moteur, mais la puissance apparente fournie au moteur sont très faibles, attendu que les différences de potentiel aux bornes du moteur sont très faibles. Pour élever la vitesse, il suffira d'élever progressivement la fréquence et, simultanément, le voltage pour maintenir le flux dans le moteur. Inversement, pour abaisser la vitesse avec récupération, il suffira d'abaisser la fréquence d'alimentation.

» On peut, au démarrage, avoir des couples très grands par rapport au couple normal, comme dans un moteur série à courant continu, avec une mise en jeu, aux bornes du moteur, d'une très faible puissance apparente.

» On sait facilement changer une fréquence : il suffit par exemple de munir d'un collecteur à lames l'enroulement secondaire d'un transformateur à champ tournant, (fig. 1) uniformément distribué

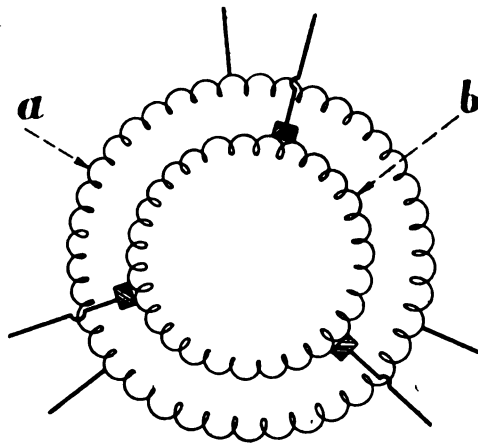


Fig. 1.

dans des encoches réparties circulairement, le primaire étant alimenté par des courants polyphasés. Des balais frottant sur ce collecteur et tenus par une couronne tournant à vitesse variable, par rapport au collecteur, recueilleront des courants de fréquence variable.

» Il est important de remarquer que l'on peut disposer, au moyen de ce collecteur, non seulement de la fréquence mais encore du voltage.

» Soit en effet (*fig. 2*) le collecteur bipolaire pour simplifier l'exposé, six balais 1, 2, 3, 4, 5, 6 permettront de recueillir entre 1 et 2, puis entre 2 et 3, etc., des forces électromotrices polyphasées

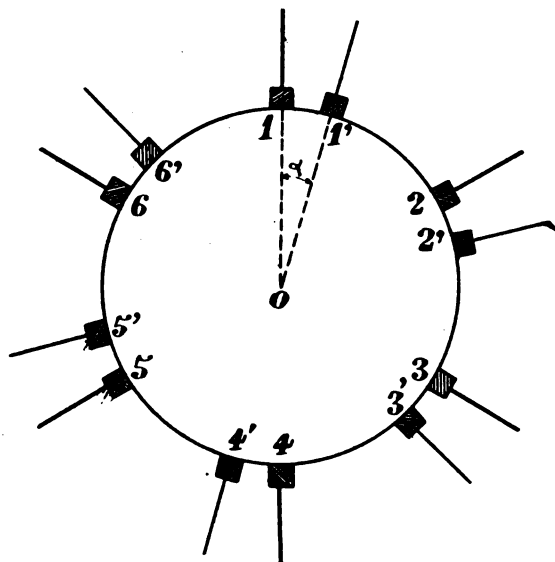


Fig. 2.

de fréquence variable, à condition de faire tourner les balais relativement au collecteur. Mais, si nous disposons sur le même collecteur un deuxième jeu de balais 1', 2', 3', 4', 5', 6', pour chaque décalage du deuxième jeu de balais par rapport au premier, nous recueillerons entre 1 et 1', puis 2 et 2', etc., des voltages variables en grandeur efficace.

» L'appareil permet donc d'abaisser simultanément le voltage et la fréquence. Si l'on utilise des transformateurs statiques fixes pour abaisser la tension du réseau, le changeur de fréquence jouera le rôle d'un simple autotransformateur, exigeant peu de cuivre, grâce à son rôle d'autotransformateur et de simple démarreur. Les conditions de fonctionnement du collecteur seront, à première vue, celles de tout collecteur de moteur alternatif en période de démarrage. Mais, circonstance particulièrement favorable, les jonctions du bobinage au collecteur pourront être relativement très résistantes, attendu qu'elles ne chaufferont que pendant les périodes de démar-

rage, le changeur de fréquence pouvant être mis hors circuit en vitesse.

» On pourra utiliser la surface frottante beaucoup mieux que dans des moteurs monophasés, car on pourra pousser la densité de courant dans les balais et ensuite disposer un très grand nombre de lignes de balais. La surface de collecteur pour une même puissance motrice sera au maximum de $\frac{1}{4}$ de la somme des surfaces de collecteur des moteurs monophasés placés sous les voitures.

» En résumé, l'emploi de l'autotransformateur avec collecteur et d'un système moteur destiné à déplacer des balais sur un collecteur est justifié par l'obtention des avantages suivants :

» 1° Suppression des bagues et des résistances de démarrage, emploi de la cage d'écureuil ;

» 2° Excellents rendements ;

» 3° Suppression totale des surcharges de démarrage pour le réseau et grands couples de démarrage ;

» 4° Mise des organes délicats sous la surveillance continue du mécanicien ;

» 5° Facilité de récupération aux arrêts par alimentation des moteurs d'une fréquence supérieure à celle correspondant à leur vitesse propre. »

M. le PRÉSIDENT remercie MM. Guéry et Gratzmuller, et, vu l'heure avancée, propose de remettre la suite de cette discussion à la prochaine séance, afin de poursuivre l'ordre du jour.

**SYSTÈME DE SIGNES CONVENTIONNELS POUR LA REPRÉSENTATION DES APPAREILS
ET INSTALLATIONS ÉLECTRIQUES.**

M. BRUNSWICK. — « Dans le courant de 1905, la sixième Section de votre Comité a été saisie par notre collègue M. Vedovelli, d'une proposition tendant à mettre à l'étude un système de signes conventionnels pour la représentation des appareils et installations électriques.

» M. Vedovelli soumettait, en même temps qu'une liste d'appareils très détaillée, un grand nombre de signes s'y rapportant, susceptibles d'un emploi courant et sur lesquels pouvaient s'exercer la discussion et le choix de la Société des Électriciens. Ce Tableau préparatoire constituait une base de travail pour un projet d'un caractère plus général dont l'étude fut confiée à une sous-commission composée de MM. Aliamet, Boistel, Hospitalier et Pérot et dont j'eus le plaisir de faire partie.

» Les propositions de cette sous-commission furent ensuite discutées en détail sous la direction de notre sympathique et éminent Président de la sixième Section, M. Guillaume, au cours des séances régulières de cette Section. La question, quoique d'un intérêt purement professionnel, mérite cependant, croyons-nous, un moment d'attention.

» J'ai l'honneur de vous rapporter aujourd'hui, à ce sujet, les propositions de la sixième Section.

» Jusqu'ici, à notre connaissance, et l'on peut s'en convaincre par l'examen des publications techniques périodiques, aide-mémoire, etc., il n'a pas été préconisé de méthode pour le choix et l'application des signes conventionnels relatifs aux installations électriques.

» La représentation des schémas, au contraire, n'a eu comme règles que le goût ou l'habitude propre à chaque ingénieur ou maison de construction; la pratique a cependant rendu classiques quelques signes. La sixième Section a eu grand soin de les incorporer dans les Tableaux définitifs dont elle préconise l'emploi.

» C'est pour remédier à l'état de choses que nous venons d'indiquer que la sixième Section a cru bon de poursuivre l'établissement d'un système de signes conventionnels; disons de suite qu'elle s'est limitée aux appareils et installations de transport, de distribution et d'utilisation d'énergie électrique, laissant de côté, au moins pour le moment, les installations de télégraphie et de téléphonie.

» Il a semblé également à la sixième Section que l'uniformisation des signes conventionnels était appelée à rendre des services incontestables.

» En effet les schémas, vu le développement des installations, deviennent de jour en jour plus compliqués, rappelant les appareils sans prétendre les représenter, et la diversité des signes choisis par les constructeurs et les exploitants ne peut rendre la lecture et la compréhension que plus pénibles.

» Une écriture symbolique, simple, claire, facile à retenir, comportant un minimum de signes combinables entre eux, devait être relativement facile à établir pour répondre à tous les besoins; les règles à suivre devaient être également simples et d'une application très élastique.

» Tels sont les principes qui ont guidé la sixième Section.

» Veuillez bien retenir que l'idée d'une réglementation de ce genre n'est pas nouvelle.

» Elle existe en d'autres matières, notamment dans la cartographie où elle rend des services inestimables; de même les automobilistes ont fait œuvre analogue en multipliant, sur les routes, des signes conventionnels constituant de précieuses indications pour les touristes et conducteurs; on en dirait autant de l'utilité des signaux de chemins de fer, etc.

» Cependant la tâche, dans notre cas, est loin d'être aussi délicate, et ce qui a réussi pour ainsi dire universellement avec les uns ne peut rencontrer de sérieuses difficultés avec les autres, le but étant de même nature.

» Sans prétendre à universaliser un système de signes conventionnels, la sixième Section estime qu'il n'est pas au-dessous du rôle de notre Société de patronner l'emploi d'un code de signes judicieusement choisis.

» Si nous regardons à l'étranger nous voyons d'ailleurs que nous

ne ferions en cela qu'imiter nombre de Sociétés similaires : aux États-Unis, les Sociétés d'assurances interviennent de très près dans le contrôle des installations électriques et certaines obligent à établir les schémas des canalisations et de l'appareillage avec des signes déterminés.

» En Allemagne, l'Association des Électriciens allemands (V. D. E.) a publié une série de prescriptions normales concernant la figuration des schémas.

» La question est donc en quelque sorte à l'ordre du jour. Attendre encore pour lui accorder quelque attention nous entraînerait à adopter probablement à une certaine époque un système existant, plus ou moins en accord avec nos usages et avec les besoins de méthode et de clarté chers à notre esprit.

» En cette voie la sixième Section a été d'avis : 1° que les indications demandées aux signes conventionnels devaient être d'ordre tout à fait général, plutôt que particulières aux détails de construction (le principe ou le but doivent être exprimés plutôt que le mode de réalisation des appareils, lequel peut varier à l'infini);

» 2° Que la liste des signes conventionnels ne pouvait comprendre la totalité des appareils répondant à toutes les applications susceptibles d'être traitées. La rédaction d'un Recueil de ce genre serait laborieuse et ne serait qu'une récapitulation de catalogues; l'usage en serait à peu près impraticable;

» 3° Que le système à adopter devait offrir toutes ressources pour représenter, avec une suffisante clarté, un appareil quelconque par la combinaison d'un petit nombre de signes.

» Par ces considérations, la sixième Section s'est arrêtée aux résolutions suivantes :

» I. Le Tableau des signes conventionnels dont l'emploi est à recommander ne doit comprendre :

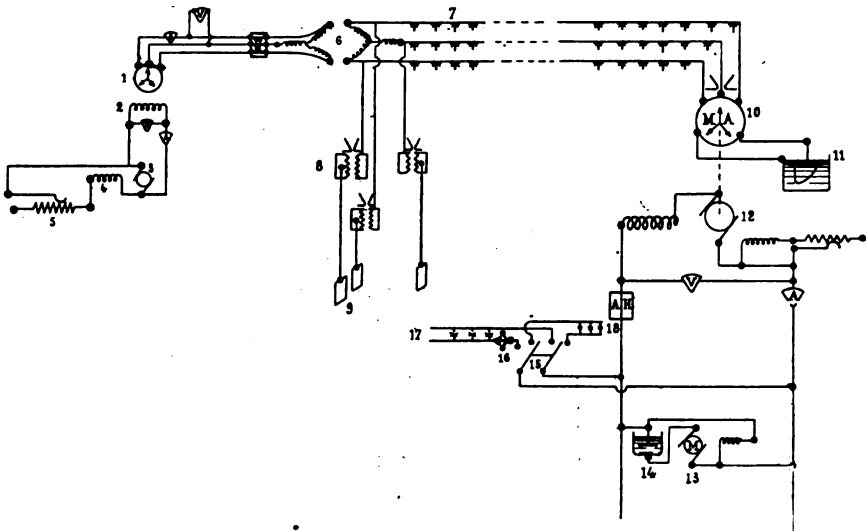
- » Que le minimum possible de signes;
- » Que des signes faciles à reproduire à main courante comme à main posée;
- » Que des signes relatifs à des principes de construction.

» II. Les signes conventionnels se répartissent en trois catégories :

» 1° Les signes fondamentaux se rapportant à un caractère commun à plusieurs classes d'appareils (*voir* le Tableau I);

» 2° Les signes caractéristiques d'appareils usuels (*voir* le Tableau II);

» 3° Les signes pouvant résulter de la combinaison des catégories précédentes pour représenter des appareils plus ou moins complexes [nous donnons ici (*voir* la figure ci-dessous), à titre d'exemple sommaire, un schéma établi en utilisant les signes conventionnels proposés].



LÉGENDE.

- | | |
|---|--|
| 1. Alternateur triphasé. | 11. Rhéostat de démarrage (résistance variable liquide). |
| 2. Inducteurs de l'alternateur triphasé. | 12. Génératrice compound à courant continu. |
| 3. Excitatrice. | 13. Moteur. |
| 4. Inducteurs de l'excitatrice. | 14. Résistance liquide. |
| 5. Rhéostat variable du champ de l'excitatrice. | 15. Commutateur bipolaire à deux directions. |
| 6. Transformateur (élévateur). | 16. Indicateur du sens de courant. |
| 7. Ligne haute tension sur isolateurs. | 17. Circuit d'arcs. |
| 8. Parafoudres haute tension. | 18. Circuit d'incandescence. |
| 9. Plaques de terre. | |
| 10. Moteur asynchrone triphasé, haute tension. | |

» III. Les signes choisis par la sixième Section sont indiqués sur les Tableaux ci-annexés.

TABLEAU I.

Symboles et signes conventionnels fondamentaux.

	Objet.	Signes conventionnels.
A...	Courant continu.	
B...	Courant alternatif simple.	
C...	Borne.	
D...	Conducteur en général.	
E...	Induit de machine en général.	
F...	Dispositif quelconque de commande à distance.	
G...	Appareil de mesure en général.	
H...	Compteur quelconque.	
K...	Dispositif à haute tension quel que soit le genre et la nature de l'appareil.	
L...	Dispositif immergé dans l'huile, représentation du bain (quel que soit le genre de l'appareil).	
M...	Indication d'un dispositif de polarisation magnétique.	

Application à la représentation de divers appareils de mesure.

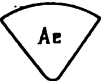
					
Ampèremètre.	Ampèremètre enregistreur.	Voltmètre.	Wattmètre.	Ampère-heure-mètre.	Watt-heure-mètre.

TABLEAU II.

Signes conventionnels généraux.

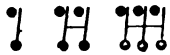
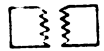
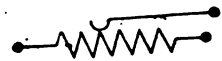
Numéros d'ordre.	Objet.	Signes conventionnels.
1...	Interrupteurs.	
2...	Inverseur.	
3...	Disjoncteur.	
4...	Coupe circuit.	
5...	Parafoudre.	
6...	Plaque de terre en général.	
7...	Commutateur.	
8...	Réducteur d'accumulateur.	
9...	Résistance fixe en général.	
10...	Résistance variable solide.	

TABLEAU II (suite).

Signes conventionnels généraux (suite).

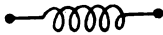
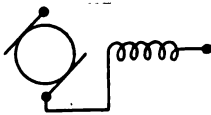
Numéros d'ordre.	Objet.	Signes conventionnels.
11...	Résistance liquide en général.	
12...	Résistance variable liquide.	
13...	Bobine de self-induction ou solénoïde ou inducteur.	
14...	Solénoïde à noyau de fer (noyau plongeur ou circuit magnétique non fermé par du fer).	
15...	Électro-aimant.	
16...	Indicateur de sens de courant.	
17...	Induit isolé de dynamo courant continu.	
18...	Dynamo série.	

TABLEAU II (suite).

Signes conventionnels généraux (suite).

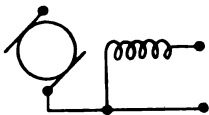
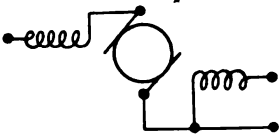
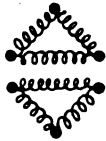
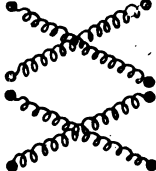
Numéros d'ordre.	Objet.	Signes conventionnels.
19...	Dynamo shunt.	
20...	Dynamo compound.	
21...	Induit isolé, moteur courant continu.	
22...	Induit isolé d'alternateur en général.	
23...	Alternateur synchrone :	
a...	Courant alternatif simple.	
b...	— — diphasé.	
c...	— — triphasé Δ.	
d...	— — triphasé  (3 ou 4 bornes suivant le cas).	
24...	Moteur synchrone :	
a...	Courant alternatif simple.	

TABLEAU II (suite).

Signes conventionnels généraux (suite).

Numéros d'ordre.	Objet.	Signes conventionnels.
24...	Moteurs synchrone (<i>suite</i>) :	
	<i>b...</i> Courant alternatif diphasé.	
	<i>c...</i> — — triphasé.	
25...	Moteur asynchrone (bornes en nombre voulu).	
26...	Transformateur (non rotatif) ⁽¹⁾ :	
	Courant alternatif simple.	
27a..	— — triphasé (triangle).	
27b..	— — triphasé (étoile).	
28...	Transformateur diphasé.	

(¹) Le sens particulier donné en électricité au mot *statique* a engagé la sixième Section à adopter la désignation ci-dessus pour caractériser un transformateur dont les circuits induits sont fixes et qui ne comporte aucun organe rotatif, de préférence à l'appellation de *transformateur statique*, dont on a fait usage le plus généralement jusqu'ici.

TABLEAU II (suite).

Signes conventionnels généraux (suite).

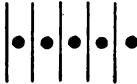
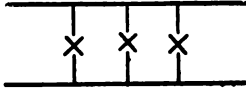
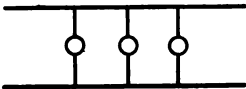
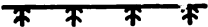
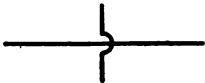
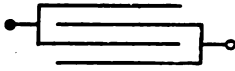
Numéros d'ordre.	Objet.	Signes conventionnels.
29...	Batterie d'accumulateurs.	
30...	Batterie de piles.	
31...	Lampes à arc.	
32...	Lampes à incandescence	
33...	Isolateur basse tension.	
34...	Isolateur haute tension.	
35...	Ligne basse tension sur isolateurs.	
36...	Ligne haute tension sur isolateurs.	
37...	Croisement de lignes.	
38...	Connexions.	

TABLEAU II (suite).

Signes conventionnels généraux (suite).

Numéros d'ordre.	Objet.	Signes conventionnels.
39...	Poussoir ou clé de contact.	
40...	Capacité.	

» Dans cette étude la sixième Section a estimé que l'emploi des signes conventionnels devait avoir pour but de permettre la compréhension générale des schémas sans entraîner pour cela à une grande complication des dessins ; il ne saurait donc, à moins de recourir à un langage hiéroglyphique plus ou moins développé, dispenser de joindre aux dessins soit des légendes, soit des instructions sur le service particulier des appareils et installations.

» Se renfermant dans ce programme, la sixième Section a pu restreindre le nombre des signes nécessaires à une solution pratique satisfaisante.

» Les signes fondamentaux sont au nombre de 11 ; la plupart sont déjà classiques ; l'emploi facultatif de sept lettres complète cette première catégorie.

» Les signes concernant les appareils les plus usuels et qu'il a paru utile de cataloguer sont au nombre de 40 seulement ; ils couvrent suffisamment, croyons-nous, le champ des applications actuelles.

» Ajoutons que les observations concernant l'extension des Tableaux proposés seront toujours bien venues. Toutes les communications tendant à enregistrer de nouveaux signes d'un usage courant et qui aurait pu s'échapper à notre nomenclature seront examinées avec la plus grande attention et donneront lieu, le cas échéant à la publication de Tableaux complémentaires. Cette méthode de revision facultative est d'ailleurs pratiquée par les Associations techniques qui élaborent des règlements.

» En résumé, la sixième Section propose :

» 1° De préconiser et recommander l'emploi du système de signes conventionnels qui vient de vous être présenté ;

» 2° De favoriser la propagation de ce système en lui accordant le patronage de la Société internationale des Électriciens ;

» 3° A ce titre d'en donner communication aux publications techniques s'occupant d'électricité industrielle ainsi qu'aux principales maisons de construction.

» Ces vœux seront transmis au Bureau et au Comité de la Société internationale des Électriciens pour recevoir la suite qu'ils comporteront.

» En vous les présentant la sixième Section a l'espoir que vos efforts voudront bien se joindre aux siens en vue de tirer, de ce modeste travail, un effet utile et d'arriver ainsi à introduire quelque méthode et un peu de clarté dans des questions qui, quoique de mince détail en apparence, ont tout de même une certaine valeur pratique. »

M. le PRÉSIDENT remercie M. Brunswick.

LES NOUVELLES LAMPES ÉLECTRIQUES AU TUNGSTÈNE.

M. BAINVILLE. — « Depuis que j'ai eu l'honneur, en mai 1905, de vous présenter quelques nouvelles lampes à incandescence, de très remarquables essais ont été faits ; si les résultats obtenus dans ces essais sont confirmés dans la pratique, ils sont de nature à favoriser le développement de l'éclairage électrique et, à ce titre, ils présentent pour nous tous, Messieurs, un très grand intérêt.

» Les nouvelles lampes dont je vais vous parler ce soir sont des lampes à filament métallique qui dérivent de la lampe à l'osmium du Dr Auer von Welsbach parue en 1900, c'est-à-dire que leur filament est constitué par un métal réfractaire, dans un état moléculaire spécial, et non pas par un fil métallique étiré à la filière comme le filament de la lampe au tantale de MM. Siemens et Halske. Ce procédé de fabrication, qui semble avoir été préconisé par Lodyguine, il y a dix ans environ, sans succès alors, a donné d'excellents résultats entre les mains du Dr Auer, dont la lampe peut être considérée comme le type fondamental de ce procédé nouveau de fabrication.

» Bien qu'à notre avis le filament métallique présente en l'état actuel des défauts assez graves qui en restreignent l'emploi et que, par conséquent, il ne constitue pas la solution définitive de l'éclairage par incandescence, il n'y a aucun doute quant au meilleur rendement lumineux de ces filaments et il ne peut donc y avoir non plus aucune hésitation à reconnaître le très grand progrès qu'ils réalisent ; on ne peut que déplorer qu'ils aient paru trop tard, car ils sont obligés maintenant de se plier aux exigences des distributions existantes, tandis qu'ils pourraient rendre des services bien meilleurs si ces distributions avaient été prévues pour leur emploi.

» A l'osmium, choisi par le Dr Auer parmi les métaux réfractaires, probablement à cause de la moins grande stabilité de ses composés, on a substitué, dans les nouvelles lampes, le tungstène,

métal réfractaire également, assez peu étudié, dont la température de fusion, d'après les travaux récents de MM. Waidner et Burgess, serait de 3200°.

» Le choix d'un procédé analogue à celui du Dr Auer semble avoir été dicté par différentes considérations. Tout d'abord, le filament d'osmium ne paraît pas subir les modifications fâcheuses observées dans les filaments métalliques étirés à la filière ; d'autre part, si compliqué qu'il paraisse, le procédé Auer est d'une exécution plus facile que l'étirage d'un métal, dur et peu ductile, en fils très fins et il est applicable à tous les métaux.

» Rappelons ici que le procédé Auer consiste à filer une poudre métallique impalpable mêlée à un agglomérant qui sera détruit dans la suite des opérations, de telle sorte que le squelette métallique résultant, quand il sera convenablement condensé, n'aura qu'une fraction de la section du fil initial. On comprend qu'on puisse ainsi obtenir des fils métalliques de très faible section.

» Dans le même but, MM. Just et Hanaman décrivent un autre procédé, qui nous semble plus difficilement applicable et qui consiste à déposer du métal sur un support de carbone.

» Dans l'un et l'autre cas, le résultat final semble devoir être un filament de carbure du métal employé ; d'après les brevets, on soumet ce filament à une oxydation et une réduction simultanées pour détruire le carbone ; à cet effet, le filament est porté à l'incandescence dans une atmosphère composée d'un mélange, en proportions convenables, d'hydrogène et de vapeur d'eau.

» Un seul des procédés décrits dans les brevets est absolument différent et très original : c'est celui du Dr Kuzel. Il consiste à filer une solution colloïdale du métal, obtenue par un des procédés connus. En particulier, le procédé Bredig, dans lequel on obtient cette solution en faisant jaillir un arc entre deux électrodes du métal maintenues à l'intérieur d'une masse d'eau, est, paraît-il, celui qui est habituellement employé par le Dr Kuzel. *A priori*, l'avantage de ce procédé sur les précédents ne semble pas douteux au point de vue de la pureté du métal constituant le filament, puisqu'il suffit de le sécher après filage et de le condenser par le courant dès qu'il est devenu suffisamment conducteur ; tandis que, par les autres méthodes, il semble difficile d'éliminer complètement le carbone ;

mais il paraît malheureusement que le procédé Kuzel ne permet pas d'obtenir des filaments assez fins.

» La production du métal pur en poudre fine est légèrement différente d'un brevet à l'autre; les uns préconisent l'emploi des combinaisons azotées ou hydrogénées, les autres partent de l'acide tungstique; c'est évidemment un des points capitaux et non des moins délicats de cette fabrication; mais nous n'avons pas à le discuter ici et nous ne voulions que signaler en passant les indications plutôt vagues contenues dans les brevets.

» L'agglomération de cette poudre métallique se fait avec des composés organiques : sucre, gommes, etc., auxquels on adjoint même, s'il s'agit de faire des fils très fins, une petite quantité de charbon en poudre impalpable. Plus l'agglomérant donnera un résidu considérable de carbone, plus le diamètre de filage de la pâte sera grand pour une même section de filament terminé et l'on pourra employer des poudres métalliques qui ne seront pas absolument impalpables.

» Le fil obtenu ainsi par filage de cette pâte est séché, puis calciné en vase clos, et l'on aboutit finalement à ce filament de carbure de tungstène dont je vous parlais tout à l'heure, qui est mélangé d'une quantité plus ou moins importante de carbone libre.

» Différents procédés sont indiqués dans les brevets pour se débarrasser de ce carbone. La vapeur d'eau mélangée avec un grand excès d'hydrogène donne, paraît-il, d'excellents résultats. On préconise aussi l'emploi de l'azote et des vapeurs ammoniacales.

» Il n'y a aucun doute que le carbone libre puisse facilement être enlevé. En est-il de même de la petite quantité qui a dû entrer en combinaison avec le métal? Nous sommes là dans le domaine des hypothèses et c'est un point particulièrement délicat, puisque nous savons combien le carbone modifie les propriétés physiques des métaux des groupes voisins.

» Après la suite des opérations que nous avons énumérées, en les empruntant à la littérature des brevets, le filament est soumis à une incandescence très vive dans le vide qui a pour but de resserrer les molécules et de lui donner, par suite, une résistance mécanique suffisante. Il semble que la supériorité du filament de tungstène réside précisément dans ce fait qu'il peut être soumis ainsi à une

température plus élevée que le filament d'osmium sans que sa résistivité soit sensiblement modifiée; quand on pousse trop loin la température de ce dernier, il devient, paraît-il, extrêmement ductile, en même temps que sa conductibilité augmente dans de telles proportions qu'il cesse d'être utilisable pour les lampes de tension courante. Le résultat pratique de cette différence de propriétés physiques est la plus grande résistance mécanique des filaments de tungstène; c'est là une supériorité incontestable qui est peut être due aux impuretés contenues dans le métal.

» Le filament de tungstène terminé est monté sur un support comme le filament de carbone; mais ce montage est rendu plus difficile par la ténuité et la fragilité du filament et aussi par ce fait qu'il faut éviter de le toucher avec les doigts qui pourraient le souiller de produits hydrocarbonés. Comme les lampes de 110 volts comportent de 4 à 5 filaments qui sont montés en série, ces filaments doivent être choisis avant montage de façon que, sous la même intensité de courant, ils donnent sensiblement le même éclat; sinon la vie de la lampe cessera avec la rupture du filament qui travaillera dans les conditions les plus défavorables. Il faut ensuite grouper ces filaments sur un support qui sera fixé ultérieurement au centre de l'ampoule; c'est à ce support que sont soudés les crochets servant à ancrer les filaments. Cet ancrage, nécessité par le ramollissement que subit le filament à la température de l'incandescence, est fait de la même façon que dans la lampe à l'osmium. Je signalerai en passant que l'ancrage a aussi pour but de s'opposer à l'attraction des branches des filaments voisins et à leur torsion, phénomène que l'on constate pour toutes les lampes à filaments multiples.

» De même aussi que pour la lampe à l'osmium, l'opération du vide est particulièrement délicate; la qualité du vide joue ici un grand rôle, probablement à cause de la finesse du filament.

» Ces considérations générales laissent entrevoir d'assez grosses difficultés en fabrication industrielle par grandes quantités; il est à souhaiter, pour le développement futur de l'éclairage électrique, que ces difficultés puissent être surmontées.

» Les qualités que présentent les lampes au tungstène sont en effet très séduisantes, si l'on s'en rapporte aux essais publiés jusqu'ici. Nous regrettons de ne pouvoir vous confirmer ces résultats

par aucun essai personnel; les négociations en cours pour la vente des brevets et la mise au point de la fabrication en sont les causes.

» Bien que les résultats publiés ne soient pas très concordants, ce qui s'explique à la fois par le petit nombre des essais et par les perfectionnements réalisés journellement dans la production, la lampe au tungstène peut être considérée comme ayant une consommation de 1,2 watt par bougie décimale, dans la direction du maximum; certains essais donnent des chiffres assez inférieurs, 1,12 watt par exemple, tandis que dans d'autres on obtient 1,5 watt par bougie. La lampe à filament de tungstène semble donc être supérieure à la lampe à filament d'osmium, au point de vue de la consommation spécifique, et cette qualité doit être due à la plus haute température de son filament; l'écart entre le point de fusion de l'osmium (2500°) et celui du tungstène (3200°) justifie cette hypothèse en dehors de toute considération de radiations sélectives et de nature des surfaces rayonnantes.

» Permettez-moi ici une petite digression. Quand on observe au microscope un filament de tantale qui a subi l'action du courant, c'est-à-dire qui a été porté à l'incandescence pendant un certain temps, on constate que sa surface est devenue très rugueuse et que le fil est comme resoudé par petits tronçons; cet aspect peut aussi bien être attribué à un commencement de fusion qu'à toute autre cause. Si l'on admet cette explication, comme la température de fusion du tantale est d'environ 2200° , on peut en conclure que le filament de tantale travaille à une température supérieure de 300° environ à celle du filament de carbone à 3 watts; d'où, en partie tout au moins, son meilleur rendement. Le même raisonnement permet, *a fortiori*, d'expliquer les rendements supérieurs des lampes à l'osmium et surtout au tungstène, dont les températures de fusion sont notablement supérieures à celle du tantale. S'il en est ainsi, le rendement du filament de carbone serait certainement très amélioré, si ce filament pouvait être porté à la même température que les filaments métalliques; il semble donc que la cause principale de ce mauvais rendement ne réside pas tant dans la nature de la surface rayonnante que dans l'existence de phénomènes particuliers: telle, par exemple, la volatilisation de la substance du filament qui ne permet pas d'élever suffisamment sa tem-

pérature. Quoi qu'il en soit, il paraît certain que les filaments métalliques semblent pouvoir travailler beaucoup plus près de leur point de fusion que le carbone, par suite de cette propriété physique en vertu de laquelle la volatilisation ne se produit qu'à une température très voisine de celle de la fusion ; c'est à cette propriété qu'est due en grande partie leur rendement élevé.

» N'ayant pu, comme nous vous le disions tout à l'heure, faire aucun essai sur les lampes au tungstène, nous ne croyons pas non plus devoir vous donner ici les courbes et les chiffres qui ont été publiés dans les journaux techniques. Nous vous indiquerons seulement la durée utile de cette lampe qui oscille entre 500 et 800 heures, bien que, dans certains essais, cette durée dépasse 1000 heures. Il est difficile, d'ailleurs, d'avoir des résultats sérieux tant que ces lampes ne seront pas en service courant. L'allure générale des courbes est à peu près celle des lampes à l'osmium, c'est-à-dire que la puissance lumineuse se maintient sensiblement constante, pour les lampes de bonne fabrication, pendant toute leur durée qui correspond ainsi à leur durée utile. C'est là un très sérieux avantage. Les lampes de basse tension ont des durées supérieures aux lampes de 110 volts et de plus faibles consommations. On observe généralement, comme pour les lampes au tantale, une légère augmentation de la puissance lumineuse pendant les 200 premières heures de fonctionnement. C'est, à notre avis, à un défaut de fabrication qu'est due cette variation, et d'ailleurs les meilleures courbes sont celles qui présentent un maximum moins marqué.

» La lampe au tungstène semble bien se comporter sur courants alternatifs. Il est probable que, grâce à son coefficient de température positif, elle peut supporter les variations de tension des réseaux, bien que jusqu'ici ces variations semblent très funestes aux lampes à filament métallique.

» Étant donnée sa grande analogie avec la lampe à filament d'osmium, on peut prévoir que la lampe au tungstène bien fabriquée fournira un excellent service à basse tension et probablement aussi à la tension de 110 volts pour les types de 30 à 50 bougies. Nous réservons notre opinion pour les lampes de plus faible puissance lumineuse, de même que pour celles de tension plus élevée, bien

que nous ayons vu fonctionner, à la tension de 110 volts, des lampes de 20 watts.

» Les lampes au tungstène de 30 et de 50 bougies 110 volts comportent de 4 à 5 filaments d'un diamètre de 4 à 6 centièmes de millimètre, ayant une longueur développée d'environ 60 cm à 70 cm. Je donne ces chiffres, bien entendu, sous toutes réserves.

» De tout ce qui précède, il est permis de conclure que le succès commercial de la lampe au tungstène est assuré à condition que sa fabrication puisse être réalisée d'une façon industrielle. Le prix relativement élevé dont on parle, et qui est justifié par les difficultés de la fabrication, ne sera pas un obstacle, si l'on en juge par le développement de la lampe au tantale, qui a heureusement fait pénétrer dans le public cette idée que l'économie sur la consommation électrique devait avoir pour contre-partie l'élévation du prix de la lampe.

» Le grand désir que nous avons tous ici, Messieurs, de voir se développer l'emploi de ces lampes à faible consommation, pour le plus grand bien du développement de l'éclairage électrique, ne doit cependant pas nous aveugler au point de nous inciter à substituer, dans tous les cas, ces lampes à la vieille lampe au carbone. C'est, au contraire, en faisant un choix judicieux de son emploi que nous favoriserons le mieux le développement de la lampe au tungstène.

» Permettez-moi donc, Messieurs, de vous donner un avis qui ne m'est pas personnel d'ailleurs, puisqu'il a été émis déjà dans certaines Communications faites, à l'étranger, sur le même sujet.

» L'emploi de la lampe au tungstène est à conseiller pour les basses tensions, par exemple pour l'éclairage par accumulateurs, et pour le montage en série sur les réseaux. Pour le montage en dérivation, sous 110 volts, nous ne croyons pas, comme nous le disions tout à l'heure, qu'on ait avantage, en l'état actuel, à utiliser des lampes d'une puissance lumineuse inférieure à 30 bougies. Étant donné le ramollissement de son filament en service, et malgré l'ingéniosité des ancrages, nous conseillons d'employer de préférence cette lampe dans une position telle que ses filaments pendent verticalement. Enfin, il nous paraît inutile, tout au moins actuellement, d'essayer de monter en dérivation la lampe au tungstène sur les réseaux dont la tension est supérieure à 110 volts.

» Ces restrictions, que nous croyons nécessaires, étant faites, nous sommes heureux de constater que la lampe au tungstène va permettre enfin, à l'éclairage électrique, de lutter bien plus aisément contre l'éclairage au gaz. Nous ne parlerons pas ici de l'éclairage public, ni de l'éclairage intensif, pour lesquels l'arc, et en particulier l'arc entre charbons minéralisés, laisse loin derrière lui, comme vous savez, les meilleurs brûleurs à gaz intensifs avec manchons incandescents. Nous voulons parler seulement de l'éclairage domestique, où la lampe à incandescence actuelle ne soutient la concurrence qu'à la faveur de certains avantages particuliers.

» Ces avantages particuliers, parmi lesquels nous retiendrons : la grande divisibilité de la lumière, la facilité d'allumage et d'extinction qui rend possible l'économie de consommation, l'absence de fuites accidentelles dangereuses et de dégagements nocifs de produits de combustion, ces avantages particuliers à l'éclairage à incandescence, dis-je, ont créé une clientèle nombreuse à ce procédé d'éclairage. Cette clientèle, qui s'est constituée alors que l'énergie était chère et que la consommation de la lampe était élevée, doit nécessairement augmenter dans de grandes proportions, puisque, d'une part, l'énergie est ou va être offerte à des prix beaucoup plus bas et que, de l'autre, avec l'emploi des lampes dont je viens de vous parler, la consommation est trois fois moindre.

» On peut donc espérer que l'apparition de la lampe au tungstène, qui va coïncider, pour Paris tout au moins, avec l'abaissement de moitié du prix de l'énergie électrique, sera le signal d'un nouvel essor de l'éclairage électrique.

» **En vous remerciant**, Messieurs, de la bienveillante attention que vous avez bien voulu m'accorder, le vœu que j'émettrai sera la réalisation, dans le plus bref délai, de toutes les promesses qui nous sont faites par la lampe à filament de tungstène. »

M. P. JANET. — « Permettez-moi d'ajouter quelques mots au remarquable exposé de M. Bainville, pour vous donner quelques résultats d'expériences obtenus au Laboratoire central d'Électricité.

» Au sujet de la lampe au tantale, je voudrais vous dire que depuis la Conférence faite en 1905 par M. Bainville de nombreux renseignements pratiques sont venus confirmer les résultats expéri-

mentaux donnés sur les premières lampes. Le grand développement qu'elles prennent à Paris montre que leur économie est appréciée par les clients des Secteurs.

» Neuve, la lampe au tantale, dite de 25 *bougies*, consomme 40 à 42 watts et donne de 20 à 25 bougies horizontales. La dépense spécifique est donc de 1,7 à 2 watts par bougie horizontale.

» Ces résultats, qui proviennent d'un certain nombre d'essais, confirment pleinement ceux qui vous avaient été cités par M. Bainville.

» Ce sont également ceux qu'a obtenus M. Sharp dans ses essais de l'Electrical Testing Laboratory.

» Au Laboratoire central nous n'avons pas eu l'occasion d'étudier systématiquement la durée des lampes au tantale. Mais nous en avons pratiquement en service sur le Secteur de la Rive gauche. Nous avons des lampes dites de 25 *bougies*, malgré les réserves du constructeur sur l'emploi de ce modèle sur courants alternatifs.

» Je vous donnerai, comme exemple, les résultats moyens d'un étalonnement effectué hier sur trois lampes en service depuis le milieu d'octobre et qui ont brûlé de 300 à 400 heures depuis cette époque :

Watts.....	39,5
Bougies horizontales.....	19,5
Watts	
Bougies horizontales.....	2,05

» Pour les lampes au tantale, l'intensité moyenne sphérique est obtenue en multipliant l'intensité horizontale par un facteur inférieur à l'unité.

» M. Sharp, dans ses expériences, a trouvé que ce facteur, pour des lampes neuves, était assez variable, de 0,70 à 0,76.

» Quand on cherche ce même facteur pour des lampes ayant brûlé pendant plusieurs centaines d'heures, on obtient des valeurs beaucoup plus grandes; en particulier, après 700 heures, il est devenu 0,86 et 0,90.

» Ce résultat est attribué au dépôt produit sur l'ampoule, qui affecte surtout par sa position l'intensité horizontale. L'intensité moyenne sphérique diminue donc moins en réalité que ne le ferait supposer la diminution de l'intensité horizontale.

» Au point de vue de la température de fonctionnement des différentes lampes à incandescence, Waidner et Burgess, du Bureau of Standard, donnent comme température de fonctionnement des lampes :

Lampe au carbone $\left(3,5 \frac{\text{watts}}{\text{bougie}} \right)$	$\left\{ \begin{array}{l} 1800 \\ 1850 \end{array} \right.$
Lampe au tantale.....	2000
Lampe au tungstène.....	2300

» Ces résultats, obtenus par une méthode que nous n'avons pas à décrire ici, concordent assez bien avec ceux trouvés par la méthode du refroidissement, que j'ai exposée ici en 1896, et qui donne environ 1720°.

» Cette méthode n'a pas été appliquée aux lampes à filament métallique. On ne connaît pas la chaleur spécifique de ces métaux aux températures élevées. De plus, la faible capacité calorifique du fil métallique très fin rendrait l'étude de son refroidissement délicate.

» M. Jouaust a appliqué dernièrement, à un filament de tantale, la méthode de Weber qui donne, comme on le sait, des résultats systématiquement trop faibles. Il a trouvé également que la température de la lampe au tantale était supérieure de 200° environ à la température d'une lampe ordinaire.

» Sur les lampes au tungstène je ne puis malheureusement vous communiquer que quelques-uns des résultats obtenus au Laboratoire. Je ne puis vous parler que de la lampe Osram, n'étant pas autorisé à disposer des renseignements sur les autres lampes.

» Sharp donne la courbe de répartition lumineuse de la lampe Osram dans un plan vertical. Cette courbe est très voisine d'un cercle.

» Le coefficient de réduction qui donne l'intensité moyenne sphérique en fonction de l'intensité horizontale est 0,815 :

$$\mathfrak{I}_{ms} = 0,815 \mathfrak{I}_h.$$

» Je n'insiste pas sur l'importance de l'intensité moyenne sphérique qui devrait être la base des comparaisons de lampes.

» Nous avons essayé au Laboratoire une lampe Osram de 110 volts.

» Elle est formée de quatre filaments montés en série.

Fonctionnement de régime.

Volts.....	110		
Watts.....	34		
Int. horiz.....	26	Moyenne sphérique..	21,2
Dépense spécifique...	1,3	—	1,6

Variation avec la tension.

Volts.	Watts.	Bougies horizontales.	$\frac{W}{B. h.}$
106	32,1	22,6	1,43
110	34,0	26,0	1,30
114	36,2	29,5	1,22

» Le coefficient de variation moyen de l'intensité lumineuse par volt

$$\frac{\Delta_{114} - \Delta_{106}}{8 \times \Delta_{110}} = + 0,033.$$

» Ce coefficient est presque le même que celui de la lampe au tantale

$$0,036;$$

il est notablement inférieur à celui de la lampe ordinaire de 16 bougies

$$0,055.$$

» J'espère que nous pourrons bientôt vous donner des résultats sur la durée de ces lampes confirmant ceux qui ont été donnés par les Laboratoires étrangers.

» Il semble, d'après les résultats qui précèdent, qu'un nouveau progrès a été réalisé, qui ne peut que profiter au développement de l'Industrie électrique. »

M. le PRÉSIDENT remercie MM. Bainville et P. Janet.

La séance est levée à 10^h45^m du soir.

BIBLIOGRAPHIE.

Les piles sèches et leurs applications, par A. BERTHIER.

1 vol., Paris, H. Desforges, 1906.

On sait bien qu'une pile rigoureusement *sèche* serait impuissante, sans intervention physique, à fournir aucun courant, puisqu'il ne s'y produirait pas de réaction chimique. Aussi l'auteur a-t-il pris le titre ci-dessus parce que celui de pile *humide*, qui serait plus exacte, est d'appellation moins courante.

Ceci posé, l'auteur signale les principales matières employées pour obtenir l'immobilisation de l'électrolyte et les exigences variées auxquelles elles doivent satisfaire. Il passe en revue le plus grand nombre des piles sèches imaginées ou essayées et qu'il range en deux catégories selon que leur liquide excitateur est salin ou alcalin.

Plusieurs Chapitres sont consacrés à l'examen critique de certains dispositifs particuliers.

La quatrième Partie de cette monographie se rapporte aux diverses applications des piles sèches, notamment à l'allumage des lampes et des moteurs à explosion, c'est-à-dire aux deux cas où les avantages de ces applications sont mieux apparents.

Procédés d'allumage des moteurs à explosion, par A. BERTHIER.

1 vol., Paris, H. Desforges, 1907.

A peu d'exception près, et à part le système de l'auto-inflammation par haute compression, c'est exclusivement aux procédés électriques qu'on a recours aujourd'hui pour déterminer l'explosion des mélanges dans les moteurs à gaz tonnant.

Une sélection semble même se faire entre les nombreuses dispositions permises avec l'électricité : on tend, en effet, à délaissier les générateurs chimiques, à liquide libre ou immobilisé, pour leur substituer de petits générateurs mécaniques, dynamos ou magnétos.

Dans le présent Volume, M. Berthier ne se borne pas à décrire ces différents systèmes ou procédés d'allumage, il en fait encore une véritable étude en discutant, au besoin, les avantages et les inconvénients de leur adaptation aux cas envisagés. La lecture de son livre sera donc profitable à tout « chauffeur » soucieux de la conduite économique de sa machine et désireux d'en obtenir le maximum de puissance; elle le convaincra, s'il ne l'est déjà, que, pour cela, il faut savoir ne pas excéder certaines limites pour *l'avance à l'allumage*.

Le contremaître mécanicien, par J. LOMBARD et J. CAHEN.

1 vol., Paris, Dunod et Pinat, 1906.

Ce *vade-mecum*, des plus instructifs pour les contremaîtres et les chefs d'atelier, rappelle d'abord toutes les notions de mathématique, de physique, de chimie, de mécanique et d'électricité qu'ils doivent posséder pour résoudre les différents calculs auxquels ils sont astreints par profession; ce sont autant de *précis* simples et très nets.

A signaler, dans cette même Partie, plusieurs Tables numériques donnant le poids des métaux suivant leurs formes et leurs dimensions, l'étude des efforts auxquels sont soumises les pièces mécaniques, ainsi qu'un résumé pratique sur les moteurs hydrauliques, à vapeur, à gaz et à pétrole, avec de nombreux exercices accompagnant les démonstrations.

La deuxième Partie a pour objet l'aménagement d'un atelier : l'ordre, l'hygiène et la sécurité qu'on doit y assurer ; on y trouve également des instructions pratiques concernant les chaudières à vapeur, les moteurs et les transmissions, les premiers soins à donner en cas d'accident, etc.

La législation ouvrière est reproduite dans la troisième Partie de cet Ouvrage où le texte de chacune des lois est suivi d'un commentaire qui les rend aussi claires que possible.

Théorie et calcul des lignes à courants alternatifs, par ROESSLER.

Traduit de l'allemand par E. STEINMANN, docteur ès sciences..

1 vol., Paris, Béranger, 1907.

Le problème des conditions des lignes à courants alternatifs est ici traité par l'auteur à l'aide des quantités complexes. De façon très élégante, les avantages de ces notations sont mis en évidence et l'initiation à la méthode n'est pas trop pénible. Pour éviter les confusions et tâtonnements, auteur et traducteur ont pris des soins tout particuliers pour le classement et le repérage des formules.

Après l'exposé de la méthode symbolique et du calcul des quantités complexes et l'examen de quelques cas simples, M. G. Rössler étudie en détail les constantes électriques d'un câble en circuit ouvert puis en charge.

Il est à souhaiter que l'auteur puisse, par les expériences auxquelles il fait allusion dans sa préface, confirmer à bref délai la valeur des formules qu'il a pu établir et qui restent quand même d'un maniement un peu rude.

En résumé, ce Volume s'adresse surtout aux spécialistes de la transmission de l'énergie électrique à grande distance ; ils y trouveront de savantes considérations.

Moteurs électriques à courant continu et à courants alternatifs.

Théorie et construction,

par Henry-M. HOBART. Traduit de l'anglais par F. ACHARD.

1 vol., Paris, Dunod et Pinat, 1906.

A notre époque de spécialisation industrielle correspond un réel besoin de monographies consciencieuses. C'est une bonne fortune pour les praticiens et pour les étudiants lorsqu'un des maîtres-ingénieurs peut réserver sur le labeur quotidien le temps nécessaire à la rédaction de ses notes et pour communiquer au public sa manière de voir en matière de construction ; tel est le cas qui se présente pour l'Ouvrage de M. Hobart dont le nom est aujourd'hui si souvent répété dans la littérature électrotechnique.

C'est s'acquitter d'une tâche réellement agréable que d'avoir à témoigner de l'intérêt que ne saurait manquer de susciter l'étude d'un travail si rempli d'utiles renseignements : théorie simple et d'un maniement facile, considérations pratiques, séries d'analyses ou de dissections de machines, si l'on peut s'exprimer ainsi, permettant des comparaisons très profitables ; documentation considérable.

Le traducteur, M. Achard, a fourni une importante contribution à la documentation, à la mise en ordre des matières; l'auteur lui en rend un hommage auquel le lecteur qui en tirera profit ne manquera pas de s'associer.

L'Ouvrage comprend deux Parties : les moteurs à courant continu sont traités dans la première et ceux d'induction dans la seconde.

A signaler en particulier, dans la première Partie : la question de la commutation envisagée au point de vue du calcul de la tension de réactance, suivant le procédé préconisé par M. Hobart et le calcul des moteurs avec pôles de commutation dont l'emploi tend à se répandre surtout en vue de certaines applications.

Dans la seconde Partie, l'usage des diagrammes a reçu d'importants et nécessaires développements.

Le moteur monophasé à collecteur est également l'objet d'un Chapitre intéressant.

Les fours électriques et leurs applications industrielles, par M. J. ESCARD, ingénieur; préface par M. H. MOISSAN, Membre de l'Institut. 1 vol. gr. in-8 de 536 pages avec 221 figures. Paris, Dunod et Pinat, éditeurs.

En consacrant cet important Ouvrage aux fours électriques, M. Escard a voulu attirer l'attention des ingénieurs sur les multiples applications dont ce précieux appareil est et deviendra l'objet.

Tout d'abord employé seulement dans les laboratoires de recherches, le four électrique, à cause des températures extrêmement élevées qu'il permet d'atteindre, a rapidement conquis une place d'une incontestable importance dans une industrie nouvelle appelée l'*Électrométallurgie*.

Grâce à ces hautes températures, on a pu faire profiter la métallurgie de réactions chimiques d'un intérêt capital et insoupçonné.

Dans sa belle préface, M. Moissan, le père du four électrique, rend justice au travail aussi documenté que consciencieux de M. Escard, qui nous expose si complètement tout ce qui a été fait dans cette voie, comme aussi ce qu'on peut encore espérer des procédés à très haute température.

Dans un Chapitre, formant en quelque sorte préambule, l'auteur décrit les procédés généraux de transformation de l'énergie électrique en énergie calorifique. Il passe en revue les systèmes de fours utilisant ces procédés et indique les méthodes de mesure des hautes températures. Le véritable four électrique industriel est celui utilisant l'énorme température de l'arc. Son étude fait l'objet principal des Chapitres III à V. Dans les Chapitres suivants sont rappelés les résultats, souvent merveilleux, obtenus dans les recherches de laboratoire. Parmi ceux-ci, il convient de citer la reproduction synthétique de cristaux naturels, notamment le diamant, préparé par M. Moissan, et la préparation des carbures métalliques. Celui de calcium est le plus connu parmi ceux-ci, à cause de son emploi pour la production économique de l'acétylène. Aussi l'auteur consacre-t-il les Chapitres VII et VIII à ces produits et à leur fabrication.

La préparation de certains métaux et alliages, dans le four électrique, est une des branches les plus intéressantes de l'Électrométallurgie. Citons seulement le manganèse, le vanadium, le molybdène, le tungstène, le chrome, métaux dont on tire un si grand parti dans la fabrication des aciers, les aciers extra-durs, en particulier, si employés par l'industrie de l'automobile.

On en vient même à fabriquer le fer et l'acier entièrement au haut fourneau électrique. L'*Électrosidérurgie* est une industrie nouvelle, ayant déjà montré sa vitalité et faisant entrevoir les plus belles espérances.

Nous ne ferons que rappeler l'obtention des produits dérivés du silicium. Le four électrique livre à l'industrie le *carborandum*, qui s'est presque substitué à l'émeri naturel dans toutes ses applications au polissage.

La soudure électrique découle aussi des propriétés de l'arc électrique; elle rend les plus grands services pour la réparation de certaines pièces d'un accès difficile ou irréparables de toute autre manière.

Nous ne pouvons en mentionner ici davantage. Ce qui précède suffit pour indiquer combien est important et intéressant le travail de M. Escard. On doit lui être reconnaissant d'avoir traité si parfaitement un sujet nouveau et pour lequel les documents bibliographiques n'avaient pas encore été réunis.

Manuel de manipulations d'Électrochimie, par M. CH. MARIE, docteur ès sciences; préface par M. H. MOISSAN, Membre de l'Institut; données numériques, par G. NOEL. 1 vol. in-8 de 166 pages avec 57 figures. Paris, Dunod et Pinat, éditeurs.

Ce Manuel, destiné à des élèves, est divisé en deux Parties. La première comprend les définitions, les lois générales, la description des appareils de mesure, des cuves à électrolyse, des électrodes et des diaphragmes.

Ces données générales sont indispensables à tout étudiant désirant suivre avec fruit les manipulations proprement dites, qui font l'objet de la deuxième Partie. Elles constituent le résumé des connaissances théoriques nécessaires.

La seconde Partie, d'un très grand intérêt professionnel, apprend tout d'abord à l'élève à pratiquer les mesures électriques. Celles-ci, avec l'analyse chimique qu'il doit parfaitement posséder, seront son guide dans les opérations électrochimiques et lui permettront de savoir ce qu'il fait.

Quant aux manipulations, elles ont surtout pour objet la préparation de produits minéraux et de corps de la série organique.

Parmi les premières, l'une des plus importantes au point de vue industriel est la fabrication des nitrates par oxydation de l'ammoniaque. On effectue ainsi la synthèse d'un des principaux engrais.

Les manipulations relatives aux composés organiques sont particulièrement attrayantes et visent, en particulier, l'obtention des corps dont dérivent de nombreux produits colorants.

Un Chapitre spécial s'occupe de l'électrolyse par courant alternatif. On prépare, avec ce courant, le ferrocyanure de potassium, le platino-cyanure de baryum, etc.

Les données numériques étaient utiles à réunir ici très en détail, afin que les élèves aient sous la main tous les éléments nécessaires au calcul et à la résolution numérique des équations traduisant les réactions chimiques.

Un des grands avantages des manipulations présentées est qu'elles ont été exécutées un grand nombre de fois avec succès; elles sont simples, bien graduées et pratiques. C'est d'ailleurs l'opinion du savant Membre de l'Institut qui nous présente ce bon Volume.

Leçons élémentaires de Physique, à l'usage des candidats au certificat d'études physiques, chimiques et naturelles, par M. A. TURPAIN, professeur-adjoint à la Faculté des Sciences de Poitiers; préface par M. GARBE, doyen de cette Faculté. 1 vol. in-8 de 795 pages avec 614 figures. Paris, Vuibert et Nony, éditeurs.

Voici le second Volume de cet excellent Traité de Physique dont le Tome I a été présenté lors de son apparition ⁽¹⁾. L'éminent auteur traite cette fois de l'Optique géométrique, de l'étude des vibrations, de l'Acoustique, de l'Optique physique, de l'Électricité et de la Météorologie.

La qualité maîtresse de ce Cours est la limpidité; aucun détail n'échappe, même lorsqu'il est question des phénomènes les plus complexes de la haute Physique. Les expériences démonstratives abondent et M. Turpain s'inspirant de la méthode d'enseignement moderne, choisit pour les exécuter des procédés simples et à la portée de tous, écartant les appareils coûteux et tout à fait spéciaux usités autrefois.

Il est fort heureux, grâce à la publication de ces Leçons, que les élèves de M. Turpain ne soient pas les seuls à profiter d'aussi excellents enseignements.

Bases d'une théorie mécanique de l'Électricité, par M. SELIGMANN-LUI, Ingénieur en chef des Mines. 1 broch. in-8. Paris, H. Dunod et Pinat, éditeurs.

Dans ce travail (tirage à part des *Annales des Mines*), l'auteur établit une nouvelle théorie de l'Électricité en s'appuyant exclusivement sur les lois régissant les principes ordinaires de la Mécanique. En neuf Chapitres, il étudie successivement l'Électrostatique, la nature de l'Électricité, la conductibilité, la pile, les courants, l'Électrodynamique, le Magnétisme, la propagation des perturbations électriques, puis enfin quelques questions connexes à la théorie de l'Électricité.

Dans cet exposé très scientifique, l'auteur a dû faire appel à toutes les ressources de l'appareil mathématique; plein d'idées nouvelles, il intéressera vivement ceux qui se préoccupent de la nature et de l'utilisation de l'Électricité. Comme conclusion, il n'y a aucune raison de revenir à l'hypothèse d'un fluide électrique matériel; au contraire, le principe de l'augmentation des forces vives, joint à l'hypothèse mécanique, introduite par M. Seligmann-Lui, permet de traduire simplement quelques lois physiques très générales.

⁽¹⁾ Voir *Bulletin*, année 1905, p. 543.

LISTE DES OUVRAGES

OFFERTS A LA SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ÉLECTRICIENS.

(Suite.)

La Bibliothèque est ouverte aux Membres de la Société, tous les jours de 2 heures à 5 heures, excepté les dimanches et jours de fêtes, 12, rue de Staël.

France.

Année (L') électrique, électrothérapique et radiographique. Revue annuelle des progrès électriques en 1906. 7^e année, par le D^r FOVEAU DE COURMELLES. Paris, Ch. Béranger, 1907; 1 vol. in-12, broché. (*Don de l'éditeur.*)

Cours municipal d'Électricité industrielle, Tome I : Courants continus, par L. BARBILLION (Institut électrotechnique de l'Université de Grenoble). Paris, E. Bernard, 1907; 1 vol. grand in-8 broché. (*Don de l'éditeur.*)

Manuel pratique d'Électricité médicale. Électrologie et instrumentation, rayons X et courants de haute fréquence, par G. GEIGER. Paris, H. Desforges, 1907; 1 vol. in-8, broché. (*Don de l'éditeur.*)

Étranger.

Gedenkschrift van de koninklijke Akademie en van de polytechnische School, 1842-1905, Samengesteld ter Gelegenheid van de Oprichting der technische Hoogeschool. Delft, J. Waltman jr., 1906; 1 vol. in-4^o relié toile. (*Don de l'Ecole supérieure technique de Delft.*)

Asbest-Spinnerei, von Robert BURGMANN. München, Kastner und Callwey, 1906; 1 brochure in-4. (*Thèse de Doctorat ès Sciences techniques.*)

Darstellungen aus der Geschichte der Technik der Industrie und Landwirtschaft in Bayern. Festgabe der Königlichen-technischen Hochschule in München. München, 1906; 1 vol. in-4, broché.

Das Regulierproblem in vorwiegend graphischer Behandlung, von A. KOOB. Berlin, A.-W. Schade, 1903; 1 brochure in-4. (*Thèse de Doctorat ès Sciences techniques.*)

- Der Ausfluss von heissem Wasser*, von J. ADAM. Berlin, A.-W. Schade, 1906; 1 brochure grand in-8. (*Thèse de Doctorat ès Sciences techniques.*)
- Die elastische Linie der Gehäuse von Drehstrommaschinen mit grossen Durchmessern*, von Hans LINSENMANN. Leipzig, B.-G. Teubner, 1906; 1 brochure in-8. (*Thèse de Doctorat ès Sciences techniques.*)
- Effektive Maschinenleistung und effektives Drehmoment und deren experimentelle Bestimmung*, von Herman FÖTTINGER. Berlin, A.-W. Schade, 1904; 1 brochure in-4. (*Thèse de Doctorat ès Sciences techniques.*)
- Festigkeitsberechnung grösserer Drehstrommaschinen*, von Julius SCHENK. Leipzig, B.-G. Teubner, 1903; 1 brochure in-8. (*Thèse de Doctorat ès Sciences techniques.*)
- Prüfung und Berechnung Ausgeführter Ammoniak-Kompressions-Kältemaschinen an Hand des Indikator-Diagramms*, von Gustav DÜDERLEIN. München, R. Oldenbourg, 1903; 1 brochure in-8. (*Thèse de Doctorat ès Sciences techniques.*)
- Technisch-physikalische Untersuchungen von Aluminium-Elektrolyt-Zellen*, von Mak JAKOB. Stuttgart, Union Deutsche Verlagsgesellschaft, 1906, 1 brochure in-8. (*Thèse de Doctorat ès Sciences techniques.*)
- Ueber das Pendeln parallelgeschalteter Drehstromgeneratoren*, von Gottfried HULDSCHNER. Stuttgart, Union Deutsche Verlagsgesellschaft, 1906; 1 brochure in-8. (*Thèse de Doctorat ès Sciences techniques.*)
- Ueber die thermischen Eigenschaften der Gesättigten und überhitzten Wasserdampfes zwischen 100° und 180° C.*, von R. LINDE. Berlin, A.-W. Schade, 1904; 1 brochure grand in-8. (*Thèse de Doctorat ès Sciences techniques.*)
- Ueber Kommutierungsvorgänge und zusätzliche Burstenverluste*, von Adolf RAILING. Stuttgart, Union Deutsche Verlagsgesellschaft, 1903; 1 brochure in-8. (*Thèse de Doctorat ès Sciences techniques.*)
- Untersuchung über die Bewegung von Lokomotiven mit Drehgestelben in Bahnkrümmungen*, von Heinrich UEBELACKER. Wiesbaden, C.-W. Kreidel, 1903; 1 brochure in-4. (*Thèse de Doctorat ès Sciences techniques.*)
- Untersuchung über explosible Leuchtgas-Luftgemische*, von F. HARUSSER. Berlin, A.-W. Schade, 1905; 1 brochure grand in-8. (*Thèse de Doctorat ès Sciences techniques.*)
- (Lot de 13 brochures et 1 volume offert par l'École supérieure technique de Munich.)
-

BULLETIN
DE LA
SOCIÉTÉ INTERNATIONALE
DES
ÉLECTRICIENS.

SOMMAIRE.

Admissions, p. 134. — Candidats au Bureau et au Comité d'Administration, p. 136. — Nouvelle lampe à arc de M. Blondel (M. Dobkévitch), p. 137. — Étude expérimentale des transmissions télégraphiques (M. Devaux-Charbonnel), p. 171.

BIBLIOGRAPHIE, p. 199.

OUVRAGES OFFERTS, p. 203.

COMPTE RENDU

DE LA

RÉUNION ORDINAIRE MENSUELLE

du mercredi 6 mars 1907 ⁽¹⁾.

PRÉSIDENTE DE M. CH.-ED. GUILLAUME, VICE-PRÉSIDENT.

La séance est ouverte à 8^h35^m du soir.

Le procès-verbal de la dernière Réunion mensuelle est adopté.

⁽¹⁾ La Société n'est pas solidaire des opinions émises par ses membres dans les discussions, ni responsable des Notes ou Mémoires publiés dans le *Bulletin*.

Il est donné connaissance des Ouvrages offerts pour la Bibliothèque de la Société (voir p. 203), et des demandes d'admission suivantes :

MM.

- Alizan** (Marcel), Ingénieur, Représentant à l'Agence de Paris de la *Société anonyme Westinghouse*, 6, rue Mansart, à Paris. — Présenté par MM. Leblanc et Alby.
- Amiot** (Ignace), Électricien, 5, rue Duboué, à Pau (Basses-Pyrénées). — Présenté par MM. Leblanc et Armagnat.
- Boitel** (Louis-Albert), Professeur au Lycée Lakanal, 4, rue Houdan, à Sceaux. — Présenté par MM. Leblanc et Armagnat.
- Bovier** (Alfred), Électricien, 21, rue Joinville, à Laval (Mayenne). — Présenté par MM. Leblanc et Armagnat.
- Cléry-Melin** (Eugène), Ingénieur-Électricien aux *Ateliers de Constructions mécaniques et électriques*, 14, rue Voltaire, à Roubaix (Nord). — Présenté par MM. Cottavoz et Renou.
- Cornier** (Edmond), Ingénieur, Représentant la *Maison Fabius Henrion* dans la région du Nord, 46, boulevard Delebecque, à Douai (Nord). — Présenté par MM. Leblanc et Armagnat.
- Danne** (Jacques), Préparateur de Physique à la Faculté des Sciences de Paris, Directeur technique du journal *Le Radium*, 91, rue Denfert-Rochereau, à Paris. — Présenté par MM. Leblanc et Armagnat.
- Dinichert** (Eugène), Administrateur-Délégué de la *Maison Rousselle et Tournaire*, 52, rue de Dunkerque, à Paris. — Présenté par MM. Leblanc et Guillaume.
- Dobkévitch** (Gaëtan), Ingénieur chef du Service électrique de la *Société française d'incandescence par le gaz*, 81, rue de l'Assomption, à Paris. — Présenté par MM. Blondel et Armagnat.
- Faure** (Jean), Directeur des *Tramways électriques de Lille et sa banlieue*, Administrateur des *Ateliers de constructions électriques du Nord et de l'Est* et des *Tramways électriques d'Astrakan*, 304, rue Nationale, à Lille (Nord). — Présenté par MM. Legouez et Della Riccia.
- Fievé** (Georges), Ingénieur-directeur du *Bureau technique des installations d'électricité*, 34, rue de la Bastille, à Nantes (Loire-Inférieure). — Présenté par MM. Armagnat et Janet.
- Fournaraki** (Léon), Ingénieur, Représentant de la *Société des accumulateurs Tudor*, en Roumanie, 27, boulevard Élisabeth, à Bucarest (Roumanie). — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Gariel** (Maurice-Marie-Joseph), Élève à l'*École supérieure d'Électricité*, 18, rue Cassette, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Gillot** (Albert), Soldat au peloton des dispensés, à Montargis (Loiret). — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Girard** (Louis), Conducteur des travaux de Paris, Directeur du *Secteur électrique municipal des Halles*, 156, rue de Belleville, à Paris. — Présenté par MM. Leblanc et Armagnat.
- Hannothiaux** (Eugène), Ingénieur en chef de la *Compagnie d'électricité de Varsovie*, 11, Foksal, à Varsovie (Pologne russe). — Présenté par MM. Laporte et Bourguignon.

MM.

- Hardy** (André-Ernest), Élève-Ingénieur des Postes et Télégraphes, 6, avenue Jules Janin, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Hugoniot** (Charles-Émile), Ingénieur en chef des *Services techniques de l'exploitation (Chemin de fer Métropolitain de Paris)*, 72, boulevard de Bercy, à Paris. — Présenté par MM. Leblanc et Armagnat.
- Lancelot** (François), Directeur de la Succursale de la *Compagnie internationale d'Électricité*, 141, rue Lafayette, à Paris. — Présenté par MM. Leblanc et Armagnat.
- Leyendecker** (Léon-Pierre-Auguste), Contrôleur principal du *Service électrique des Chemin de fer de l'État, Usine électrique de la gare*, à Niort (Deux-Sèvres). — Présenté par MM. Barbou et Loppé.
- Lexaud** (Pierre-Albert), Ingénieur, 22 *ter*, rue Legendre, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Michel** (Claude-Léon dit Julien), ancien Élève des Arts et Métiers, Chef du Service technique à l'*Énergie électro-mécanique*, 13, rue du Ratriait, à Suresnes. — Présenté par MM. Leblanc et Armagnat.
- Mondange** (Alexandre-Frédéric), Ingénieur aux usines de la *Compagnie générale d'Électrochimie de Bozel*, à Bozel (Savoie). — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Mottet** (Joseph), Propriétaire-directeur de la *Station hydro-électrique*, à Saint-Martin Vésubie (Alpes-Maritimes). — Présenté par MM. Janet et Armagnat.
- Nikolsky** (Alexandre de), Sous-chef du Laboratoire électrique de la *Société française d'incandescence par le gaz*, 3, rue de Metz, à Levallois-Perret (Seine). — Présenté par MM. Blondel et Dobkévitch.
- Sauvage** (Paul), Secrétaire général de la *Société parisienne pour l'Industrie des Chemins de fer et Tramways électriques*, Secrétaire du Conseil d'Administration de la *Société des Ateliers de Constructions électriques du Nord et de l'Est* (Jeumont); Ingénieur de la *Société française Sprague*, 31, avenue de l'Opéra, à Paris. — Présenté par MM. Legouez et Della Riccia.
- Société anonyme des usines du Pied Selle**, à Fumay (Ardennes). — Présenté par MM. Leblanc et Armagnat.
- Vautier** (Théodore), Professeur à la Faculté des Sciences de Lyon, 30, quai Saint-Antoine, à Lyon (Rhône). — Présenté par MM. Leblanc et Armagnat.
- Vernisy** (Robert-Joseph-Marie de), Élève à l'*École supérieure d'Électricité*, 9, rue Jean-Bart, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Weiersmuller** (Guillaume), Fabricant de moules pour plaques d'accumulateurs, 8, rue de Tourtile, à Paris. — Présenté par MM. Leblanc et Heinz.

Ces candidats sont élus Membres titulaires de la Société internationale des Électriciens.

Conformément à l'art. 14 du Règlement intérieur, M. le PRÉSIDENT fait connaître à la Réunion les noms des candidats proposés par le Comité en vue du renouvellement partiel du Bureau et du Comité d'administration ainsi que pour le remplacement des membres de la Commission des comptes; savoir :

PRÉSIDENT

pour l'exercice 1908-1909 :

MM.

Boucherot (P.), Ingénieur-Conseil.

VICE-PRÉSIDENTS :

Arnoux (R.), Ingénieur-Constructeur.

Larnaude (A.), Administrateur-Directeur de la *Compagnie française pour la fabrication des lampes électriques à incandescence.*

SECRÉTAIRE GÉNÉRAL :

Armagnat (H.).

SECRÉTAIRES :

Boutin (M.), Ingénieur des Arts et Manufactures.

Valbreuze (R. de), Ingénieur-Électricien.

MEMBRES :

Alliot (R.), Ingénieur des Arts et Manufactures.

Blondel (A.), Ingénieur du Service central des Phares.

Boistel (E.), Ingénieur-Conseil.

Cournuault (E.), Administrateur-Délégué de la *Compagnie du gaz de Marseille.*

David (Ch.), Chef de travaux au Laboratoire central d'Électricité.

Durand (A.), Chef de travaux au Laboratoire central d'Électricité.

Gaillaume (Ch.-Ed.), Directeur-adjoint du Bureau international des Poids et Mesures.

Helmer (O.), Directeur de l'*Usine d'électricité de MM. Schneider et C^{te}.*

Labour (E.), Ingénieur des ateliers de la Société l'*Éclairage électrique.*

Lelong (R.), Ingénieur principal du Génie maritime.

Lorin (Ch.), Ingénieur des Arts et Manufactures.

Marchena (de), Ingénieur en chef de la *Compagnie Thomson-Houston.*

Montpellier (J.), Rédacteur en chef de l'*Électricien.*

Pellissier (G.).

Pomey (J.), Ingénieur des Télégraphes.

Sartiaux (Eug.), Ingénieur Chef des Services électriques au *Chemin de fer du Nord.*

Tissot (C.), Lieutenant de Vaisseau, Professeur à l'École navale.

Touanne (de la), Ingénieur des Télégraphes.

COMMISSION DES COMPTES :

Belugou (V.), Ingénieur principal des Télégraphes.

Bochet (A.), Ingénieur en chef de la *Maison Sautter, Harlé et C^{te}.*

Brunswick (E.), Ingénieur principal chargé du Service technique de la *Maison Bréguet.*

L'ordre du jour appelle les Communications techniques.

LES PROGRÈS RÉCENTS DES LAMPES A ARCS : LES ARCS A FLAMME (¹).

M. BLONDEL. — « La deuxième Section de la Société des Électriciens avait inscrit dans son programme l'étude des perfectionnements apportés dans la production de l'éclairage électrique au cours des dernières années; M. Bainville vous ayant exposé récemment les nouvelles découvertes en matière de lampes à incandescence, il me reste à faire connaître les développements qui se sont produits parallèlement dans la technique des lampes à arc, en laissant de côté l'arc au mercure, déjà suffisamment décrit.

I. — CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES.

» *Définition des arcs à flamme (²).* — Ce qui caractérise les arcs à flamme au point de vue industriel, c'est que l'arc proprement dit, formé entre les électrodes, est plus long et plus brillant que dans les arcs au charbon pur, dans lesquels il ne joue sensiblement aucun rôle comme source de lumière. En même temps, on constate que les bases de l'arc, sur les électrodes, sont beaucoup plus petites; il n'y a plus à proprement parler de cratère analogue à celui de l'anode d'un arc au charbon pur; la source de lumière se présente comme une longue flamme, jaillissant d'une petite plage très brillante sur l'une des électrodes.

» Au point de vue théorique, les différents arcs à flamme que nous examinerons ont un caractère commun, c'est la grande conductibilité des vapeurs qui les composent, et qui est évidemment due à la présence d'ions libres en grande quantité; en outre, la chute de tension au voisinage de l'anode est beaucoup plus faible que dans les arcs au charbon; enfin, cet arc se trouve soumis, ainsi que ses électrodes, à l'influence oxydante de l'air ambiant (³).

(¹) M. Blondel étant empêché, cette Communication a été présentée en séance par M. Dobkévitch, Chef du Laboratoire de la Société d'incandescence par le gaz.

(²) M. Marks a proposé le mot *arc lumineux*, qui serait plus scientifique.

(³) L'arc au mercure (ou métaux analogues), produit dans le vide, présente des propriétés bien plus simples qui en font un véritable arc théorique.

» Dans ce qui suit j'exposerai d'abord les considérations géné-

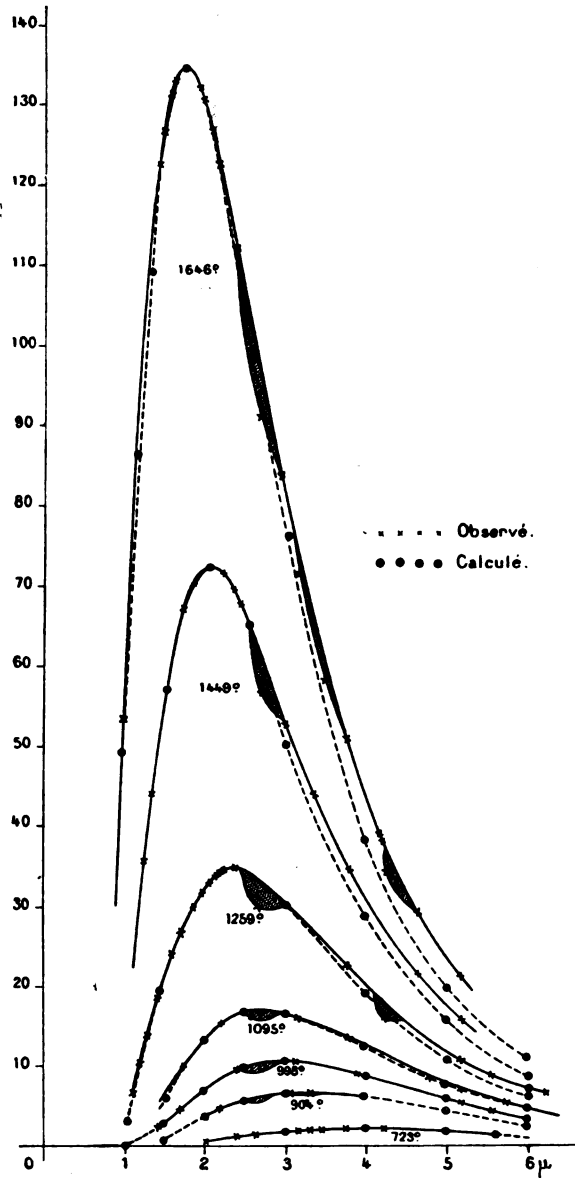


Fig. 1. — Répartition de l'énergie dans le spectre du corps noir à différentes températures, d'après Lummer et Pringsheim.

rales qui doivent guider dans l'étude des arcs à flamme, puis les procédés de réalisation des lampes et électrodes des deux groupes dans lesquels on peut classer ces arcs, les particularités com-

munes à leur emploi et, enfin, les résultats pratiques de celui-ci.

» *Moyens d'accroître le rendement de l'arc électrique.* — Dans tout arc électrique, en général, la lumière produite résulte de deux phénomènes d'ordre tout différent : l'incandescence et la luminescence. Le problème qu'a à résoudre l'ingénieur éclairagiste, ou *illuminateur*, comme disent les Américains, c'est d'accroître le plus possible l'un ou l'autre de ces deux effets, ou de les combiner en vue du maximum de rendement.

» 1° *Incandescence.* — Comme vous l'avez vu par l'étude des nouvelles lampes à incandescence à filaments métalliques, le problème de l'incandescence est aujourd'hui assez bien posé et l'on est guidé, pour le résoudre, par des principes assez clairs. Ce qui a fait jusqu'ici le défaut principal des sources par incandescence, c'est leur faible rendement, résultant de la disproportion énorme qui existe entre les radiations visibles, c'est-à-dire celle dont les longueurs d'onde sont comprises entre $0,4 \mu$ et $0,8 \mu$, et les radiations invisibles. Cette disproportion atteint son maximum avec les corps noirs, qui donnent le maximum de rayonnement par unité de surface, mais malheureusement surtout sous forme de rayons calorifiques. Les courbes du rayonnement du corps noir en fonction de la longueur d'onde et de la température que je reproduis ici, d'après les beaux travaux de Lummer (¹), montrent clairement cette répartition déplorable de l'énergie dans le spectre, si vous voulez bien remarquer que la seule partie visible de celui-ci se trouve à gauche de la verticale correspondante à $0,8 \mu$. Ce rayonnement utile est si petit qu'il n'a même pu être représenté avec précision, et il ne peut pas dépasser quelque $\frac{1}{10}$ pour 100 de l'énergie totale au rouge sombre et 1 pour 100 à la température la plus élevée réalisable (²).

» Pour améliorer ce rendement, deux moyens se présentent :

(¹) *Comptes rendus du Congrès international de Physique*, 1900. Un remarquable exposé historique de la question a été publié par M. C.-E. Guillaume dans la *R. G. Sciences*, 30 avril 1901.

(²) D'après une remarquable étude comparative du professeur Wedding (*Journal für Gasbeleuchtung*, 1905), le rapport de l'énergie visible à l'énergie totale varie de 0,02 pour 100 pour la lampe à pétrole, à 0,19 pour 100 pour le filament de carbone incandescent et 0,32 pour 100 pour l'arc ordinaire.

porter le corps incandescent à une plus haute température, ou lui faire émettre des radiations plus favorables.

» Toute augmentation de la température accroît l'intensité totale des radiations. On sait que, d'après la loi de Stephan-Boltzmann, l'énergie totale de toutes les radiations élémentaires E_λ dans le spectre croît comme la quatrième puissance de la température absolue T

$$\int_0^\infty E_\lambda d\lambda = A(T^4 - T_0^4)$$

(A étant une constante) en appelant T_0 la température absolue de l'espace ambiant. Mais, en même temps, l'accroissement de la température tend à déplacer le maximum du côté des radiations visibles, c'est-à-dire vers la gauche de l'épure; c'est ce qu'exprime la *loi de déplacement* de Wien, en vertu de laquelle la longueur d'onde λ_m de la radiation maxima est inversement proportionnelle à la température absolue

$$\lambda_m = \frac{B}{T}$$

(B étant une constante égale à 2940 pour le corps noir théorique et 2630 pour le platine poli, d'après Lummer et Pringsheim).

» L'amplitude E_m de la radiation maxima varie d'ailleurs plus vite que l'aire totale de la courbe et est proportionnelle à la cinquième puissance de la température absolue

$$E_m = DT^\alpha$$

(pour le corps noir théorique avec $\alpha = 5$, D étant une constante égale à $0,2188 \times 10^{-17}$; pour le platine poli $\alpha = 6$).

» Pour amener la radiation maxima à la longueur d'onde la plus favorable ($0,55 \mu$ d'après Langley), il faudrait atteindre une température de 5880° , au moins égale à celle du Soleil (tandis que λ_m descend à $1,47 \mu$ pour 2000° et $2,91 \mu$ pour 1000°). Pour l'arc ordinaire T absolu est voisin de 3750° et λ_m de $0,7 \mu$.

» Enfin, la répartition même de l'énergie dans le spectre du corps noir résulte de la loi plus complète de Planck (qui contient les précédentes)

$$E_\lambda = \frac{G\lambda^{-5}}{e^{\frac{a}{\lambda T}} - 1}$$

(e étant la base des logarithmes népériens et a une constante égale à $5B$, soit 14600, G une autre constante).

» D'après ces lois, on ne peut donc espérer améliorer le rendement d'un corps noir tel que le carbone des électrodes des lampes à arc ordinaire (qui se rapproche beaucoup du corps noir parfait), car l'élévation de température réalisable pratiquement est très limitée; la température maxima dont nous disposons, celle de l'arc électrique sur carbone pur, atteint seulement 3500° au cratère (d'après les travaux de M. Violle), limitée qu'elle est par l'évaporation qui se produit alors avec une grande intensité sur la surface incandescente (¹).

» Le point d'électrovaporisation d'un corps est différent du point d'ébullition ordinaire et dépend, dans une grande mesure, des phénomènes d'ionisation, car la vapeur est chargée d'électricité, surtout si la surface incandescente est de polarité négative (²).

» C'est ce qui explique l'augmentation progressive de l'éclat du cratère avec l'intensité du courant dans les arcs électriques sur charbon pur, ainsi que je l'ai montré autrefois et comme M. Rey vous l'a expliqué plus récemment avec plus de précision. L'emploi des métaux à filaments, à l'état pur, comme électrodes de lampes à arc serait donc rationnel, mais il donne lieu à des scories trop gênantes.

» Pour obtenir un meilleur rendement d'une source de lumière électrique par incandescence, on peut chercher aussi à employer comme électrodes, ou à chauffer dans l'arc, des corps blancs, ou analogues, présentant une loi de radiation plus avantageuse que celle de Planck, soit qu'ils présentent une réduction de l'émission des radia-

(¹) Si les nouveaux filaments métalliques peuvent être portés à une température supérieure aux filaments de carbone, bien que celui-ci soit le plus infusible des corps connus, c'est parce qu'ils sont moins facilement vaporisables sous l'influence combinée de la chaleur et de la tension électrique; et cette propriété précieuse paraît devoir être attribuée au poids atomique très élevé de ces métaux (191 pour l'osmium, 183 pour le tantale, 184 pour le tungstène, au lieu de 12 seulement pour le carbone).

(²) M. Wehnelt a même montré récemment que les oxydes alcalino-terreux peuvent donner des rayons cathodiques avec une tension très faible (quelques centaines de volts) quand ils sont placés dans le vide sur une cathode en platine portée à l'incandescence. On ne peut donc mettre dans le vide des filaments revêtus ou fermés d'oxydes de ce genre.

tions calorifiques non visibles, soit qu'ils réalisent un pouvoir émissif exceptionnel pour les radiations visibles (¹).

» Quand on veut profiter de cette propriété si avantageuse pour améliorer l'arc électrique, il faut tenir compte de la loi du déplacement : la température étant bien plus haute dans l'arc que dans un bec Bunsen, le maximum d'intensité se déplace du côté des radiations très réfrangibles et les radiations jaunes passent au violet et à l'ultra-violet. J'en ai fait l'expérience en 1900, en essayant, dans les charbons minéralisés, l'emploi des métaux rares et, en particulier, du mélange Auer; on obtient un arc très peu éclairant, beaucoup moins éclairant que celui produit par les sels de chaux. Pour ceux-ci, au contraire, la loi du déplacement est favorable, car, à la température du bec Bunsen, leur teinte est encore assez rougeâtre et, dans l'arc électrique, le maximum de radiation se trouve déplacé vers le jaune, c'est-à-dire dans la région la plus favorable du spectre, au point de vue physiologique. Le choix des substances utilisables par incandescence à haute température dans l'arc électrique est donc beaucoup plus limité qu'on ne le croirait *a priori* et doit être tout différent du choix que l'on ferait pour de plus basses températures. D'après mon expérience, et celle de tous les expérimentateurs qui ont travaillé le même sujet, les composés blancs à base de calcium ou de métaux très voisins, tels que le strontium, le baryum, le zinc, donnent les meilleurs résultats (²).

(¹) Le premier cas peut se présenter avec les corps blancs doués d'un faible pouvoir émissif tels que l'oxyde de thorium; on sait, en effet, que celui-ci peut être porté dans la flamme d'un bec Bunsen à une température beaucoup plus élevée qu'un oxyde coloré présentant un grand pouvoir émissif, tel que l'oxyde de fer. Dans le second cas, on peut avoir affaire à des corps ayant un pouvoir émissif très élevé, mais localisé surtout dans la région utile du spectre. C'est un déplacement dû non à la température, mais à une propriété du corps; tel semble être le cas de l'oxyde de cérium; c'est pourquoi, en l'associant en petite quantité à l'oxyde de thorium pour en utiliser la haute température, on obtient le mélange utilisé dans le manchon Auer, qui, tout en présentant un pouvoir émissif important pour les radiations jaunes verdâtres, en a un très faible pour les radiations calorifiques. Cette théorie, due à M. Le Chatelier et complétée par M. Féry, a été entièrement vérifiée par M. Paschen.

(²) On a parlé également du béryllium, mais c'est un métal trop rare pour une application industrielle. Les sels ou oxydes colorés du fer ou des métaux analogues ne donnent lieu qu'à une incandescence très faible, et cela n'a rien d'étonnant, puisqu'ils se rapprochent du corps noir et que leur électrovaporisation a lieu à une température bien plus basse que pour le carbone.

» 2° *Luminescence*. — L'arc électrique présente aussi des phénomènes d'un ordre tout différent, qu'on peut appeler des *effets de luminescence* et qui ont leur siège exclusivement dans la partie gazeuse de l'arc.

» D'après les théories de Lorenz et Zeeman, les effets lumineux des flammes minéralisées sont dus aux oscillations libres des ions décomposés, ayant une très faible masse par rapport à celle des molécules non ionisées. Ces dernières, quand elles sont portées à l'incandescence par les chocs des ions, vibrent forcément à une fréquence beaucoup moindre, qui correspond à des rayons calorifiques; mais, comme elles sont assez éloignées respectivement dans les gaz, on conçoit qu'il puisse y avoir émission d'une lumière à peu près monochromatique (ou de plusieurs lumières monochromatiques) sans un accompagnement aussi considérable des radiations calorifiques de basse fréquence que dans l'incandescence d'un solide. Cette luminescence ne peut être obtenue par simple échauffement, car l'élévation de température d'un gaz ne fait qu'augmenter sa pression, et la luminosité des gaz à très haute température est très faible. Il faut qu'il y ait soit une combinaison chimique, soit une vibration forcée produite par le passage d'un courant électrique. Les belles expériences de Moore ont montré que le tube de Geissler peut être ainsi employé comme source de lumière, en donnant un rendement d'autant meilleur que la fréquence des courants oscillants employés pour l'exciter est plus élevée. Il a obtenu ainsi une véritable source de lumière froide, mais les difficultés de réalisation ont été jusqu'ici trop considérables et la puissance lumineuse, par unité de volume, trop faible pour que cette méthode entre encore dans la pratique. Le seul cas de luminescence utilisé pour l'éclairage est celui des flammes et des arcs à flamme.

» Par exemple, l'arc au mercure, qui est si éclairant, est précisément remarquable par sa basse température, qui atteint seulement quelques centaines de degrés.

» Pour réaliser le plus grand rendement possible par la luminescence de la colonne gazeuse de l'arc à flamme, on doit donc rechercher des substances vaporisables qui soient très facilement ionisables et qui présentent le spectre le plus avantageux, c'est-à-dire qui émettent des raies spectrales principalement dans la

région visible du spectre et le moins possible au dehors. On doit aussi se préoccuper d'avoir, parmi les radiations visibles, celles qui ont l'effet physiologique le plus favorable, c'est-à-dire des radiations jaunes et vertes voisines de $0,55 \mu$, d'après les recherches de Langley, mais tout en tâchant d'obtenir une résultante voisine de la lumière du jour. Cette dernière condition est fort mal remplie, comme on le sait, par les radiations de l'arc au mercure, auquel manquent trop les radiations rouges. C'est d'ailleurs un fait général que la vapeur des métaux présente, comme celle du charbon, un spectre surtout riche en rayons bleus ou violets et ultra-violets. La recherche des métaux les plus favorables a donc forcément un caractère plutôt empirique. On l'a poursuivie dans deux directions différentes, soit avec l'arc dans le vide, soit avec l'arc à l'air libre.

» Les seuls métaux qui se prêtent à l'emploi dans un tube vide sont les métaux très fusibles; le mercure seul peut être amené à l'ébullition et à la luminescence dans un simple tube de verre. Mais en remplaçant le verre par le quartz fondu, MM. Stark et Kuch ont pu étendre les investigations à toute une autre série de métaux intéressants, tels que le plomb, le bismuth, l'étain, l'antimoine, le sodium, etc. (1). Ils ont obtenu des résultats assez remarquables au point de vue théorique, mais qui n'ont pas eu jusqu'ici d'applications pratiques, d'une part, parce que les spectres des métaux considérés n'ont pas réellement une supériorité marquée comme rendement, et, d'autre part, parce que la nécessité d'amener d'abord préalablement, par un chauffage extérieur, le tube et le métal à la température de fusion du métal avant de pouvoir allumer l'arc, puis ensuite de refroidir les électrodes pour empêcher un échauffement excessif en régime, ne permet pas l'emploi industriel d'une pareille lampe.

» Les autres métaux, qui ont des points de fusion beaucoup trop élevés, ne sont utilisables qu'à l'air libre. Les métaux de la série du calcium donnent, surtout quand ils sont émis par l'anode, un spectre assez brillant, mais surtout d'incandescence (2); au con-

(1) *Physikalische Zeitschrift*, 1^{er} septembre 1904, et *Éclairage électrique*, 1905.

(2) Les ions des composés alcalins et alcalino-terreux paraissent se déplacer dans la direction de l'anode à la cathode; ce phénomène, que j'avais observé dès 1901, est utilisé depuis cette époque, dans les lampes à arc que je décrirai plus loin, en employant

traire, les métaux usuels tels que le fer, le cuivre, etc. sont très peu éclairants; seuls le titane et les métaux analogues, chrome, tungstène, etc., présentent une luminescence très favorable, seulement quand ils sont émis dans l'arc par le pôle négatif. On n'a pu jusqu'ici expliquer ces différences entre les différents corps au point de vue de la luminescence; ce sont des propriétés idiosyncrasiques, comme la plupart des propriétés chimiques des corps simples; tout ce qu'on peut faire, c'est de reconnaître qu'elles sont communes à plusieurs éléments d'une même famille.

» Les spectres des arcs lumineux sont formés de raies brillantes avec quelques bandes; d'après Stark, les raies proviendraient des oscillations propres des ions positifs, et seraient d'autant plus intenses que la température est plus élevée. Cependant, elles sont surtout intenses au voisinage de la cathode comme les raies coupées observées par M. de Kowalsky sur les arcs électriques à haute tension ⁽¹⁾. En augmentant l'intensité du courant, on voit les lignes traverser toute la hauteur du spectre, mais en restant plus larges du côté de la cathode. Quant aux bandes, d'après M. Stark, elles résulteraient de la radiation de l'énergie potentielle des électrons quand ils se recombinaient avec les ions positifs; elles ne croissent pas en intensité avec la température, mais dépendraient seulement du nombre de recombinaisons par seconde, lequel ne peut pas dépasser une valeur déterminée ⁽²⁾.

» Dans les arcs à flammes formées entre électrodes additionnées de substances minérales, celles-ci se vaporisent en plus grande abondance qu'il n'est nécessaire pour le passage du courant, et les vapeurs en excès, non ionisées, donnent un spectre d'incandescence ordinaire continu, qui se superpose aux précédents et qui a fait croire à Lénard que les atomes vibrants ne sont pas ionisés. Enfin, les électrodes elles-mêmes, si elles sont incandescentes, donnent un spectre continu. L'analyse spectrale d'un arc à flamme est donc

l'électrode minéralisée comme pôle positif. MM. Riecke et Stark ont plus récemment démontré que les ions introduits dans une effluve, en y plaçant une perle de sels alcalins ou de sels de chaux, sont transportés aussi dans la même direction.

⁽¹⁾ *Bulletin de la Société française de Physique*, séance du 5 mai 1905.

⁽²⁾ *Phys. Zeits.*, 1^{er} septembre 1904.

extrêmement délicate et je ne crois pas utile, pour ce motif, de reproduire de tels spectres dans cette Note (¹).

» *Influence du mécanisme intime de l'arc sur les propriétés des arcs-flammes. Aspects caractéristiques de ceux-ci.* — D'après les théories modernes, la conductibilité résulte de la présence d'ions libres; il faut donc, pour établir un courant entre les deux électrodes, qu'il y ait production continue d'ions dans l'espace qui les sépare. Malgré le caractère apparent de l'arc au charbon, dans lequel le carbone se vaporise en grande quantité à la surface de l'anode et se dépose en partie à la pointe de la cathode, on doit attribuer le rôle essentiel à la projection d'électrons négatifs par la pointe de la cathode, et considérer seulement la vaporisation à l'anode comme un phénomène secondaire et non indispensable.

» Le rôle essentiel de la cathode pour l'allumage de l'arc électrique et la nécessité de la vaporiser préalablement ont été mis en évidence dès 1901 dans un travail que j'ai publié sur l'arc alternatif entre métaux et charbon (²), et dans lequel je montrais que l'impossibilité de faire passer le courant pendant l'une des alternances provient du refroidissement de l'électrode négative.

» C'est cette propriété des électrodes métalliques qui nous est revenue plus tard d'Amérique sous le nom bizarre de *répugnance de la cathode*; c'est ainsi que les anciens disaient que l'opium fait dormir parce qu'il a une vertu dormitive. On explique mieux le phénomène en disant qu'il n'y a pas d'arc sans électrovaporisation de la cathode. C'est M. Stark qui a établi la généralité de cette loi même pour le régime permanent, et l'importance qu'elle a pour distinguer le phénomène de l'arc et celui de l'effluve (³).

(¹) On trouvera dans Biegon von Czunochowsky (*loc. cit.*) un croquis d'un spectre du fluorure de calcium montrant des raies ou bandes dans le rouge, le jaune et le vert et très peu de rayons dans le bleu et le violet.

(²) *Revue générale des Sciences*, 30 juillet 1901, p. 666.

(³) Stark et Cassuto ont montré qu'on peut entretenir un arc entre une cathode chaude et une anode froide (formé par exemple d'un cylindre tournant rapidement autour de son axe et près des génératrices desquelles on approche la cathode), tandis que le passage de l'arc en sens inverse est impossible. J'adopte ici le mot *électrovaporisation*, au lieu du terme bien trop vague *électrisation*, employé par Stark.

» Grâce à la mobilité bien plus grande des ions négatifs, qui semblent être ici des électrons négatifs libres, dont la masse ne dépasse pas $\frac{1}{1000}$ de celle d'un atome, ces corpuscules, projetés du pôle cathodique, atteignent une vitesse bien plus considérable que les corpuscules plus lourds venant de l'anode; cet effet ne se voit pas dans les arcs industriels ordinaires, mais il apparaît avec une netteté surprenante dans les arcs de grande intensité entre charbons purs et surtout minéralisés; par exemple, avec et au-dessus d'un arc de 80 ampères, on voit la flamme de l'anode minéralisée projetée dans le sens opposé à l'anode par le jet cathodique de la cathode en charbon pur qui l'atteint directement; ce jet est si fort qu'il produit à l'extrémité de l'anode un cratère taillé obliquement en sifflet quand la cathode est légèrement désaxée, et pousse la flamme à contre-sens, même si l'on place les deux charbons verticalement l'un au-dessus de l'autre avec l'anode en bas.

» Avec des arcs industriels moins puissants, par exemple d'une dizaine d'ampères, l'aspect est différent, et l'on voit deux panaches brillants, l'un très volumineux à l'anode, l'autre beaucoup plus petit à la cathode (¹); si l'on place l'anode au-dessous de la cathode, le panache provenant de l'anode vient lécher la cathode en s'épanouissant tout autour de sa pointe; mais il y a généralement sur cette pointe, ou même sur le côté latéral du cône cathodique, un petit point plus brillant d'où s'irradie dans la flamme un petit panache qui décèle la présence d'un jet cathodique. Quand on écarte beaucoup les deux charbons en augmentant le voltage disponible, et surtout si l'on a soin de les minéraliser tous les deux avec des sels alcalins, elles donnent lieu (surtout si elles sont horizontales) à deux panaches bien distincts, très longs, et qui se projettent tantôt d'un côté, tantôt de l'autre d'une manière capricieuse; ces deux panaches semblent être indépendants, mais cependant, dès qu'ils cessent de se toucher, l'arc s'éteint (²).

(¹) Voir les photographies publiées dans le journal *L'Éclairage électrique*, 16 mars 1901, pages 379-380.

(²) L'arc, qui a particulièrement été étudié, avec un spectroscopie sans fente, la réparation lumineuses, dans les grandes flammes cathodiques et anodiques très riches en sels alcalins (*Drude's Ann.*, juillet 1901), a été observée chacune de plusieurs flammes correspondant à des

» Ces simples apparences, si claires avec les arcs minéralisés, suffisent à montrer qu'en général le phénomène de l'arc électrique est le résultat de la production, par les deux électrodes, de vapeurs chargées de masses électriques libres qui doivent se recombinaison en un certain point du parcours; cette vaporisation n'est pas un simple phénomène de changement d'état physique, puisqu'elle est accompagnée d'une véritable ionisation d'une partie au moins de la vapeur produite; c'est pourquoi je l'appelle une *électrovaporisation* ⁽¹⁾.

» L'anode tend à être portée à l'incandescence par le choc des ions, mais on peut avoir intérêt à empêcher la mise en marche de l'électrovaporisation qui en résulterait, en constituant cette électrode d'un corps peu volatilisable, maintenu froid par sa grande masse ou par un refroidissement artificiel. Par exemple, dans l'arc au mercure, l'augmentation de température de l'arc et l'augmentation de lumière qui résulte de cet excès de vapeur n'est pas en proportion de l'énergie ainsi dépensée; il est donc plus avantageux de conserver l'anode froide.

» Au contraire, avec les arcs à flamme entre électrodes contenant des matières alcalino-terreuses, l'expérience démontre qu'il y a avantage à produire une électrovaporisation à l'anode, parce que les sels employés donnent un spectre brillant à l'anode, et qu'en outre les vapeurs très abondantes produites y sont portées à une très haute incandescence. Il paraît même intéressant de miné-

séries différentes de raies spectrales, et que la radiation aux différents points paraît déterminée plutôt par la forme des flammes que par la répartition du courant électrique dans celles-ci. Les flammes de la série principale doivent se toucher sous peine d'extinction de l'arc, tandis que les flammes d'autres séries peuvent être séparées par un intervalle obscur plus ou moins grand. Toutes ces flammes paraissent creuses et semblent formées de couches concentriques présentant des propriétés rayonnantes différentes et séparées par des couches sans rayonnement.

(1) On a fait bien des hypothèses pour expliquer la façon dont se produit le dégagement de chaleur nécessaire pour produire cette électrovaporisation, une fois le régime permanent établi. M. Stark admet qu'elle provient de l'échauffement de la cathode par le choc des ions positifs qui se dirigent vers elle et que l'échauffement de l'anode provient de même du choc des ions négatifs; mais, dans les longs arcs à flamme, il semble bien plutôt y avoir recombinaison des deux espèces d'ions à la rencontre des deux jets anodique et cathodique; l'électrovaporisation s'entretient peut-être par le dégagement de chaleur dû à une *résistance au passage* à la surface des électrodes.

raliser les deux électrodes dans la limite où le permet la production des scories, parce qu'il y a alors deux sources d'incandescence et de luminescence au lieu d'une. Mais la vapeur est beaucoup plus brillante près de l'anode, grâce à sa température plus élevée qu'à la cathode, et l'on trouve ainsi généralement, comme on le verra plus loin, plus d'avantage à accroître les substances minérales dans l'anode; d'ailleurs, le petit faisceau cathodique qui jaillit au milieu des fumées suffit à les rendre incandescentes aux environs de la cathode (1).

» Dans les arcs à luminescence utilisant les métaux de la famille du titane, le spectre de luminescence se produit bien mieux à la cathode qu'à l'anode et l'électrovaporisation de l'anode n'augmente la lumière par incandescence que dans une faible proportion, bien moindre que pour les charbons au calcium, et elle est accompagnée d'autre part de bien plus d'inconvénients au point de vue des scories. La seule solution possible à ce point de vue serait l'emploi d'une anode en charbon pur, mais alors l'usure rapide de cette

(1) Plus le degré de l'ionisation dans la flamme est élevé, plus l'arc s'allonge (sous réserve de la résistance introduite par un excès de vapeur neutre, comme on le verra plus loin), et plus le spectre tend vers celui des métaux composants et devient indépendant de celui des corps électro-négatifs associés à ces radicaux. C'est ainsi que les sels alcalins donnent toujours la teinte de leur base, mais non les sels alcalino-terreux. Le fluorure de calcium donne une teinte peu différente de la chaux tant qu'il est en petite quantité, parce qu'alors l'ionisation est presque complète; au contraire, le fluorure employé à très forte dose, et qui s'ionise mal, d'après l'expérience sur courants alternatifs, fait prédominer son spectre d'incandescence où dominent les bandes, et donne une flamme d'un blanc jaunâtre, due probablement au fluor qui fait virer vers le vert. Dans les arcs de grande intensité ou dans les arcs courts, l'ionisation paraît être plus faible que dans les arcs de faible intensité, à cause de la température plus élevée, qui fait prédominer la vaporisation simple et élève l'incandescence; la lumière est donc plus blanche dans les gros arcs que dans les petits, et dans les arcs courts que dans les longs. La plupart des sels, tels que les sels halogènes, les phosphates, sulfates, etc., employés dans l'arc subissent une décomposition dont les produits ne se recombinent qu'imparfaitement; il en résulte, dans l'air ambiant, la présence abondante de chlore, brome, acide phosphorique, acide sulfurique, etc., tous corps délétères et corrosifs. Au contraire, les fluorures se retrouvent entièrement indécomposés à l'état de fumée. Des essais entrepris sous la direction du Dr Wedding ont même démontré qu'il ne se produit que des fluorures de bore ou de silicium en présence des borates ou des silicates. Cette circonstance est des plus heureuses. Mais il semble se produire du carbure de calcium, en même temps que le peroxyde d'azote, dont on parlera plus loin.

anode fait disparaître l'avantage principal qu'on trouve dans cette lampe, à savoir sa longue durée. On est donc conduit pratiquement à employer une anode froide de grande masse, en cuivre par exemple.

» Ce que nous avons dit plus haut de l'arc à courant alternatif entre charbons et métaux trouve aussi une application importante dans les arcs-flammes. Tout d'abord la difficulté de rallumage à chaque alternance est telle avec les électrodes métalliques qu'elle exclut leur emploi sur les courants alternatifs, comme l'a depuis longtemps signalé Arons. Elle est presque aussi grande avec les oxydes de la famille du fer et du titane, et l'on est obligé, par conséquent, pour l'utilisation du titane à l'état de métal ou d'oxyde, de recourir toujours au courant continu au moyen de redresseurs à mercure. Au contraire, les arcs au charbon mélangé de matières minérales se prêtent bien à l'emploi des courants alternatifs, soit avec une seule électrode minéralisée, soit, préférablement, avec les deux; mais la difficulté de rallumage à chaque alternance se fait sentir par la réduction du facteur de puissance; par suite des becs de la courbe de force électromotrice qui se produisent au moment où l'intensité passe par son minimum, ce facteur de puissance n'atteint que 0,70 environ pour les arcs un peu longs (38 volts entre charbons); mais il peut monter jusqu'à 0,90 pour les arcs plus courts (22 volts entre charbons) (').

» *Classification des arcs à flamme en deux catégories.* — De ce qui précède il résulte qu'on peut, au point de vue de la présente étude, classer les arcs à flamme en deux catégories, assez nettement distinguées par la nature des substances qu'on emploie et par les phénomènes qui prédominent dans la production de la lumière : d'une part, les arcs à flammes formées des composés des métaux alcalins et alcalino-terreux, ou de tous autres analogues, donnant des fumées blanches portées surtout à l'incandescence; d'autre part, les arcs formés par les métaux ou composés du groupe du fer et du titane, qui ne jouissent pas d'un pouvoir émissif aussi avan-

(') Les courbes en question sont reproduites dans l'*Éclairage électrique* du 23 mars 1907.

tageux, par simple incandescence, mais qui donnent surtout lieu à des effets de luminescence. Pour chacune de ces catégories, j'indiquerai le procédé de réalisation des électrodes, le choix le plus avantageux des substances minérales et les résultats pratiques.

II. — LAMPES DE PREMIÈRE ESPÈCE, A FLAMME INCANDESCENTE. (COMPOSÉS ALCALINO-TERREUX.)

» Ces lampes ont été essayées ou réalisées jusqu'ici sous trois formes différentes, soit avec des oxydes purs, soit avec des charbons mélangés de substances minérales et entourés ou non d'une enveloppe protectrice, soit enfin avec des charbons purs contenant des mèches additionnées des sels éclairants.

» *Électrodes en substances minérales pures.* — L'emploi d'électrodes composées de substances minérales pures, qui a été proposé par Rasch et, plus récemment, en France, par la Compagnie générale

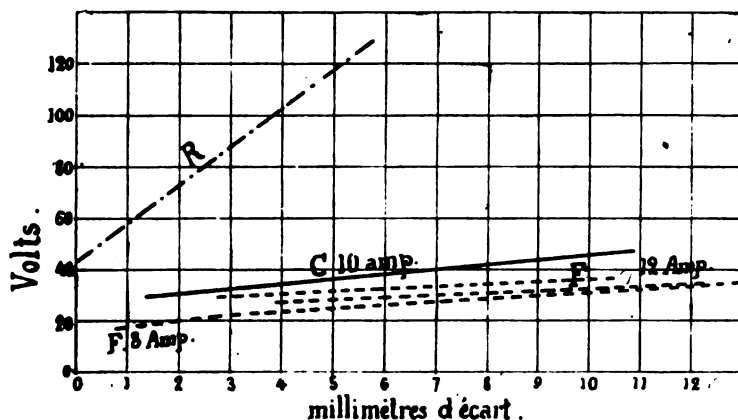


Fig. 2. — Comparaison entre les tensions nécessaires pour maintenir un arc entre charbons ordinaires (C), charbons à mèche à flamme (F), et autres bâtonnets d'oxydes de Rasch (R).

d'Électricité, ne paraît pas avoir donné lieu à une exploitation industrielle et ne présente donc pour le moment qu'un intérêt théorique.

» Les auteurs utilisent des bâtonnets plus ou moins isolants à froid et qu'on rend conducteurs sur une certaine longueur par chauffage préalable. L'arc obtenu paraît beau, mais d'une compo-

tion cependant moins favorable que l'arc au fluorure de calcium; si l'on essaie d'ajouter, à défaut des fluorures, d'autres oxydes ou composés donnant une certaine conductibilité au mélange, les électrodes deviennent trop facilement fusibles. En outre, dans tous les cas, la perte de voltage considérable qu'elles occasionnent entraîne une perte d'énergie excessive. Enfin, comme le montre (1) la figure 2, le voltage entre bornes varie tellement plus vite qu'avec tous les autres charbons, que le réglage exigerait un mécanisme de précision. Ces inconvénients pratiques n'ont pas été jusqu'ici écartés; aussi les substances alcalino-terreuses sont-elles employées exclusivement en combinaison avec le charbon comme support.

» *Électrodes en charbon additionné de substances minérales.* — Je ne reviendrai pas ici sur l'historique de ces charbons mélangés, que j'ai donné assez complètement dans une Communication présentée au Congrès international de Saint-Louis en 1904 (2).

» Il suffira de rappeler ici que les premiers essais de l'application des composés alcalino-terreux remontent à nos compatriotes Gauduin (1876), Archereau et Carré (1877); ils avaient découvert les remarquables propriétés des sels de chaux, magnésie et strontiane introduits dans la pâte des charbons, mais ils avaient été arrêtés, pour l'application industrielle, par la production de scories et de fumées abondantes. M. Bremer a réinventé, en 1899 (3), les électrodes en charbon mélangé de substances minérales alcalino-terreuses, et il a trouvé la première solution industrielle de la lampe à flamme en disposant des charbons minéralisés, côte à côte, les pointes dirigées vers le bas pour permettre l'écoulement des scories; mais il n'a pas pu, ainsi qu'il résulte de ses Communications mêmes (4), employer les électrodes placées l'une au-dessus de l'autre. On doit

(1) D'après Biégon de Czudnochowsky (*Verh. physikalische Gesellschaft*, 20 mars 1903).

(2) Celle-ci est publiée *in extenso* dans le journal *Éclairage électrique*, 16 et 23 mars 1907, et j'y renvoie les lecteurs pour plus de détails sur l'arc entre charbons mélangés.

(3) Voir les Brevets français de M. Bremer, 291037, 291106, 292674, 293806, 295897, 296646, 300222, etc.

(4) Cf. *Elektrotechnische Zeitschrift*, 4 avril 1901, p. 304, 2^e colonne.

aussi à M. Bremer d'avoir montré les avantages considérables du fluorure de calcium au point de vue de la coloration et du rendement lumineux de la flamme. Mais il a rédigé ses brevets sous une forme si générale et si diffuse que, malgré tout son mérite indéniable, ses inventions en matière d'électrodes ne sont pas définies, l'emploi des fluorures alcalino-terreux ayant été indiqué auparavant par Weston, qui paraît en avoir connu les avantages spéciaux. Si l'on néglige toutes les combinaisons d'électrodes que M. Bremer avait imaginées pour faire couler les scories et qui ont été peu à peu abandonnées, les charbons Bremer contiennent, semble-t-il, simplement du fluorure de calcium et des borates alcalins ou des silicates alcalins, jouant le rôle de fondants.

» L'expérience a démontré du reste que le fluorure de calcium est l'élément le plus favorable; c'est donc lui qui fait le fond de toutes les compositions de charbons mélangés ou à mèche minéralisée. Mais, dès qu'on l'emploie en grande proportion pour obtenir le rendement maximum, comme on le verra plus loin, il donne lieu à des scorifications abondantes; d'autre part, sa vaporisation se fait d'une manière irrégulière et donne lieu à de continuels éclats brusques de lumière très désagréables. Pour éviter ces deux inconvénients, j'ai imaginé des solutions nouvelles qui ont permis la réalisation industrielle de lampes à charbons mélangés placés l'un au-dessus de l'autre, dites à *arc carbo-minéral* ⁽¹⁾:

» 1^o Au lieu de faire, comme M. Bremer, un charbon homogène, j'ai fait un charbon à deux zones ⁽²⁾, la zone centrale étant très minéralisée (jusqu'à 50 pour 100 par exemple), tandis que la zone extérieure est faite en charbon pur et constitue une enveloppe protectrice destinée à empêcher l'accès de l'air autour du noyau

(1) Je tiens à signaler que j'ai eu à cette époque comme assistant M. Dobkévitch qui m'a aidé à exécuter la plupart des expériences nécessaires; plus tard il a été chargé de la mise au point de la fabrication industrielle.

(2) Au début, employant des électrodes de petit diamètre, j'avais cherché à maintenir l'arc immobile par l'addition d'une mèche de sels alcalins au centre du noyau, et le charbon était *trizone*; mais l'expérience m'a montré que cette troisième zone n'était pas nécessaire et qu'il valait mieux y renoncer pour pouvoir donner aux électrodes un plus grand diamètre. Les charbons sont donc actuellement simplement *dizones*. Les deux zones peuvent être exécutées séparément en filant d'abord des tubes minces qu'on fait cuire et qu'on remplit ensuite d'un noyau injecté à l'état cru

intérieur; celui-ci est ainsi préservé de la scorification, due, dans les lampes Bremer, à une combustion prématurée du carbone; mais l'enveloppe doit être faite assez mince pour que l'usure la taille en cône tout autour du noyau, et qu'ainsi l'arc se forme toujours sur celui-ci et, en se déplaçant, l'use régulièrement en facette plane. L'enveloppe joue aussi le rôle très important d'augmenter la conductibilité (celle du noyau minéralisé étant toujours insuffisante), et de réduire l'usure, comme le montre le Tableau général des résultats présentés à la fin de cette étude. On évite ainsi l'inconvénient grave des très petits diamètres de charbons que nécessite la lampe Bremer pour que l'arc reste fixe.

» 2° Pour supprimer les éclats de lumière que donne le fluorure de calcium pur, malgré l'addition usuelle d'acide borique ou de sels alcalins, j'ajoute d'autres sels jouissant de la propriété particulière de régulariser la vaporisation; ce ne sont pas des fondants comme les borates alcalins, qui distillent trop tôt, mais, au contraire, des sels plus réfractaires que le fluorure de calcium et qui lui servent de substratum; tels sont, par exemple, les borates des métaux alcalino-terreux et les borates de zinc, césium, etc. Certains de ces corps servent en même temps à blanchir la lumière du spath. Il y a intérêt à ajouter aussi une certaine quantité de borates ou silicates alcalins pour augmenter l'ionisation et, par suite, le rendement lumineux; l'expérience démontre que cette addition a pour effet de rétrécir la base de l'arc sur l'anode et de donner à cette base la forme d'un canal étroit d'un très grand éclat qui s'épanouit en haut en panache d'un éclat moindre. Ces diverses additions ne se font qu'en proportions assez faibles pour ne pas modifier beaucoup les lois générales des arcs au fluorure de calcium, notamment la loi de variation du voltage en fonction de l'écart, à intensité de courant

ou d'un noyau déjà cuit et enduit de goudron. Une deuxième cuisson est alors nécessaire et les manipulations entraînent beaucoup de déchets. Il est plus avantageux, à ce point de vue, de faire les charbons d'un seul coup à l'aide de presses spéciales (que je ne décrirai pas ici pour ne pas surcharger cet exposé); c'est de cette manière qu'opère généralement la Société Auer. On y gagne aussi d'avoir un contact tout à fait intime entre les deux zones, et d'éviter en service la formation d'arcs intérieurs entre elles, ou des brisures de l'enveloppe extérieure quand on les serre dans les porte-charbons.

constante, comme je l'ai expliqué en détail dans ma Communication de Saint-Louis. Cette loi est linéaire comme celle qu'a observée M^{me} Ayrton avec des électrodes en carbone pur (1). Je reproduis, par exemple, sur la figure 3, comparativement avec des résultats relatifs

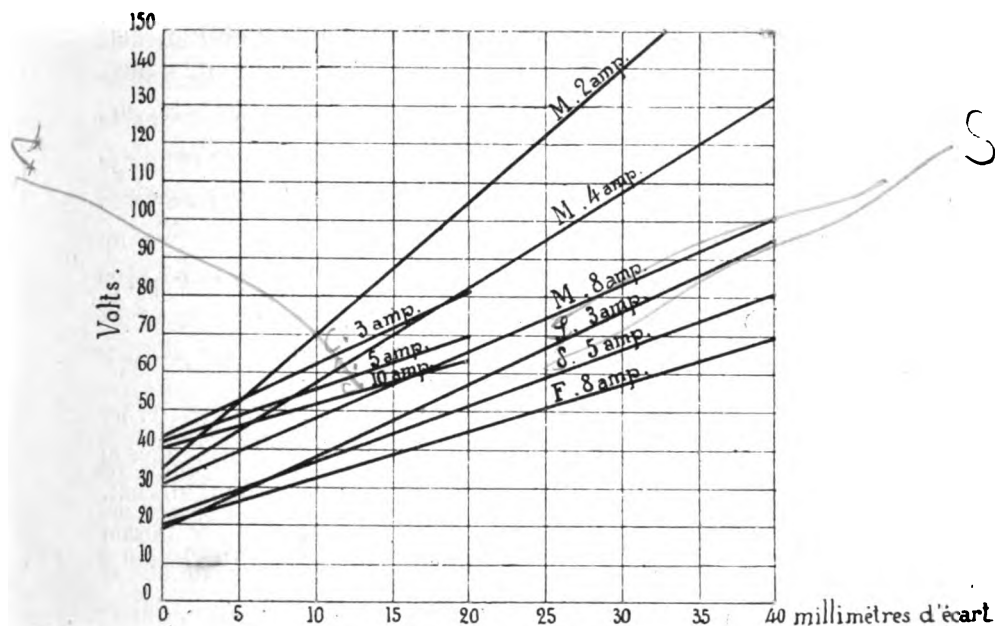


Fig. 3. — Courbes des tensions en courant continu entre électrodes, pour des écarts croissants, et pour différentes catégories d'électrodes : C charbons purs (d'après M^{me} Ayrton); F charbon à mèche à flamme (d'après M. Zeidler); S charbons au spath (à 50 pour 100 dans la pâte); M électrodes à la magnétite (d'après M. Steinmetz).

à d'autres espèces de charbons, les courbes que j'avais publiées antérieurement relativement à des charbons minéralisés à 50 pour 100 de spath, étudiés avec des courants de 3 et de 5 ampères. J'ai signalé aussi à cette époque, au moyen d'autres courbes (2) obtenues avec des proportions de spath variant de 3 à 90 pour 100 de la masse des électrodes, que la conductibilité de l'arc croît jusqu'à un certain degré de minéralisation, voisin d'environ 20 pour 100, et diminue ensuite quand on accroît davantage la miné-

(1) Bien qu'avec des électrodes métalliques Gunther-Schulze ait trouvé des courbes convexes.

(2) Cf. *Congrès de Saint-Louis*, t. II, 1904, p. 756 et *l'Éclairage électrique*, 23 mars 1907.

ralisation. Ce phénomène résulte probablement (comme la réduction de conductibilité du mercure par une augmentation de pression) des chocs plus nombreux que subissent, dans la vapeur neutre plus abondante, les ions proprement dits, qui doivent la parcourir pour aller d'un pôle à l'autre et dont le nombre est fonction seulement de l'intensité du courant. Il en résulte, pour les minéralisations plus grandes, un raccourcissement de l'arc et un élargissement de sa base. Ces expériences tendent à démontrer également que le courant est bien propagé par les substances minérales et non par le carbone des électrodes; celui-ci ne doit servir qu'à maintenir la conductibilité des électrodes et à régulariser la vaporisation; en un mot, c'est une éponge imprégnée de substances minérales et qui se détruit surtout par oxydation ⁽¹⁾.

» *Charbons à mèche minéralisée, dits « à effet »*. — Pour éviter les difficultés de la fabrication et de l'emploi des charbons mélangés et ne pas changer leur fabrication facile, les fabricants allemands ont, dès l'apparition des lampes Bremer, imité celles-ci en y faisant brûler des charbons à *mèche* minéralisée. Les charbons à mèche se distinguent, comme on le sait, par le petit diamètre de l'âme, qui ne dépasse pas la moitié du diamètre (au delà de la moitié, le charbon devient un charbon à enveloppe, puisque le contenant est plus petit que le contenu). Normalement, ils ne contiennent pas plus de 10 pour 100 de substances minérales incorporées, et celles-ci sont simplement des sels alcalino-terreux, surtout les fluorures, dont quelques-uns étaient déjà en usage, à faible dose, dans les mèches; on mélange ces corps avec le silicate de potasse, ordinairement

(¹) On peut trouver une confirmation de cette manière de voir dans le fait que l'usure des charbons est d'autant plus rapide qu'ils sont plus riches en matières minérales, et que l'addition d'une petite quantité de matières minérales à une anode en carbone pur en abaisse immédiatement beaucoup l'éclat intrinsèque. Ce phénomène se produit déjà avec les charbons à mèches ordinaires, comme je l'ai montré il y a longtemps; l'éclat ne reprend sa valeur primitive que si l'on augmente beaucoup la proportion de substances minérales, parce qu'alors on substitue ainsi, en réalité, l'éclat intrinsèque sélectif d'une substance blanche à celui du carbone noir. D'après ce qui précède, on voit que le rendement lumineux doit être lui-même une fonction du degré de minéralisation.

employé, à la dose de 10 à 15 pour 100, comme agglomérant de la mèche (1).

» Le fonctionnement des charbons à mèche est tout différent de celui des charbons minéralisés dans la pâte ou dans un noyau; tandis que, dans ces derniers, la base de l'arc n'est qu'une petite partie de la surface minéralisée, au contraire, dans les charbons à mèche, c'est la mèche qui n'est qu'une petite partie de la base de l'arc; on est obligé, pour obtenir qu'elle intervienne toujours dans la combustion, d'employer des charbons très minces (2), soumis à une forte densité de courant, de manière que la pointe entière soit portée à une haute incandescence et que l'arc ne puisse la quitter; malgré cela, il arrive des moments où, la mèche se vidant trop, l'arc jaillit sur le carbone pur et perd immédiatement les trois quarts de sa lumière, en même temps qu'il se raccourcit beaucoup.

» L'inconvénient de ces charbons très fins, c'est qu'ils sont soumis à une usure rapide, qui atteint 27,5 mm environ par heure dans les lampes à charbons placés l'un au-dessus de l'autre et près de 40 mm dans les lampes en V; d'autre part, ces électrodes, dont la longueur dépasse 500 mm (voir Tableau I.) et atteint quelquefois

(1) Les fluorures insolubles dans l'eau sont sans réaction sur le silicate de potasse et ne dégagent pas de fluor s'ils sont bien exempts eux-mêmes d'acide fluorhydrique. Bien des sels, tels que les chlorures, phosphates, sulfites, dégagent des acides ou précipitent le silicate de soude. Voici quelques échantillons des formules usitées :

	Charbons pour lumière jaune.	Charbons pour lumière blanche verdâtre ou rouge.	Charbons pour lumière blanche bleuâtre.
Charbons.....	45 à 50 ‰	44 ‰	49 ‰
Silicate de potasse.	8,6 à 6,4 —	7,1 —	9,4 —
Sels ajoutés.....	Ca F ² 46,5 à 42,8 —	Ba F ² ou Sr F ² 47 —	Ca ² O ³ 42,1 —
Impuretés.....	0,9 à 0,8 —	0,8 —	—

On a aussi préconisé le fluorure de magnésium comme un corps ionisant qui jouirait de propriétés particulières favorisant la production de la lumière; celles-ci me paraissent un peu imaginaires et le vrai rôle de ce fluorure est plutôt de donner des radiations vertes qui blanchissent la teinte du fluorure de calcium.

(2) Le Tableau comparatif annexé indique, d'après les constructeurs, des diamètres de 7 et 8 cm pour les intensités de courant usuelles, malgré des longueurs de 500 mm et au delà.

800 mm (!), présentent une grande fragilité et une résistance électrique excessive, qui force à recourir à des artifices, décrits plus loin, si l'on ne veut avoir des chutes de tension excessives.

» *Influence de la constitution et du degré de minéralisation des électrodes.* — Il est très important de savoir jusqu'à quel point on doit minéraliser les électrodes contenant des matières alcalino-terreuses. M. Bremer avait cherché à augmenter la minéralisation le plus possible, mais la scorification des électrodes en rendait l'emploi impossible dans les lampes à charbons verticaux dès que, d'après le Professeur Wedding, l'anode contient plus de 15 pour 100 de fluorure de calcium ou, les deux électrodes, plus de 7 pour 100; tous les autres spécialistes croyaient qu'il ne fallait pas dépasser cette limite de 15 pour 100 de la masse *totale* de l'électrode, sous peine d'abaisser le rendement en diminuant le degré d'incandescence des électrodes qui, alors, donnaient 75 à 95 pour 100 de la lumière totale, et que 10 pour 100 suffisaient pour produire la vapeur ionisée nécessaire au passage du courant. Mes expériences ont montré, au contraire, qu'on a avantage à pousser beaucoup plus la minéralisation (pourvu que l'on évite les scories par l'addition d'une enveloppe protectrice du charbon), parce que les vapeurs incandescentes utiles pour la production de la lumière sont plus abondantes que les vapeurs ionisées; en fait, une minéralisation de 50 pour 100, dans le noyau sur lequel jaillit l'arc, n'est pas exagérée; le cratère positif brillant se trouve, en effet, réduit, en surface, environ au $\frac{1}{4}$ de ce qu'il est dans un arc de carbone et présente un éclat à peu près équivalent; la lumière totale étant environ cinq fois plus grande qu'avec l'arc au carbone (pour un même courant électrique), on doit attribuer à l'arc incandescent 50 à 75 pour 100 de la lumière produite. On voit aussi que les charbons à mèche ne contiennent pas la quantité de matières minérales suffisante pour le rendement maximum.

» Dans les lampes à courant alternatif, à charbons placés l'un au-dessus de l'autre, on retrouve les mêmes avantages de l'emploi d'une forte minéralisation, bien que l'influence de l'électrode inférieure, jouant le rôle positif, ne se fasse sentir que pendant une alternance sur deux; naturellement, il en résulte que le rende-

ment d'un arc alternatif doit être moins bon que celui d'un arc à courant continu, mais la différence est réduite par la rapidité des inversions du courant, qui ne laisse pas le temps aux vapeurs minérales de s'échapper de l'arc pendant l'alternance où l'électrode supérieure devient anode. Le Tableau III des résultats d'expérience montre que les charbons à flamme n'atteignent pas le rendement des charbons dizones.

» *Disposition des lampes pour charbons additionnés de substances minérales.* — Ce n'est pas sans tâtonnements qu'on est arrivé aux dispositions actuelles des lampes à charbons minéralisés. M. Bremer avait dû renoncer à la disposition ordinaire des charbons placés l'un au-dessus de l'autre, à cause des inconvénients de la scorification de ses charbons homogènes; il croyait même impossible d'arriver à un résultat avec la disposition ordinaire. Ses lampes, exposées à l'Exposition de 1900, présentaient (à son insu d'ailleurs), des dispositifs ⁽¹⁾ analogues à celles brevetées jadis, mais peu connues, de Gérard, soit avec deux charbons convergents, rapprochés par à-coups au fur et à mesure de l'usure, soit avec deux paires de charbons retenus par coincement réciproque dans des dispositions invariables. Cette dernière disposition est trop compliquée et a été abandonnée; M. Bremer a retenu seulement la disposition à deux charbons, dite en V; celle-ci a été imitée naturellement par tous les fabricants allemands (et, plus récemment, par quelques fabricants français) sous le nom de *lampe à flamme intensive*. Comme exemple de ce type, nous citerons la lampe Excello de Kœrting et Mathiessen (*fig. 4 et 5*). Dans cette lampe, comme dans toutes les lampes modernes analogues, on a dû réaliser, par des mécanismes faciles à concevoir, deux mouvements différents des charbons, un mouvement de descente compensant l'usure, mais sans recul possible (sauf dans les lampes à courant alternatif à moteur), et un mouvement d'oscillation des charbons autour de leurs points d'attaches, qui permet de rapprocher les pointes pour l'allumage ou le rallumage, quand la mèche s'est vidée trop pro-

(¹) Voir la Communication de M. Laporte sur la lampe Bremer de 1900 (*Bulletin*, 3 juillet 1901).

fondément et que l'arc jaillit uniquement sur le carbone pur. Ce mouvement d'oscillation est produit généralement, comme le montre

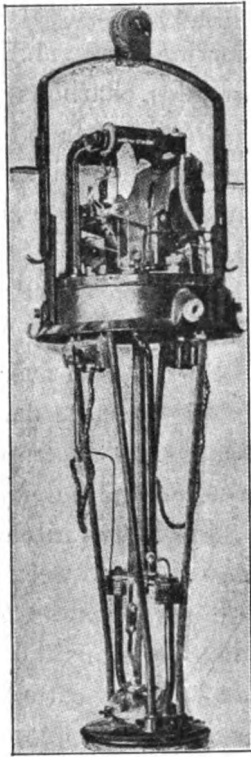


Fig. 4. — Lampe allemande avec électrodes en V, dite à *flamme intensive*.

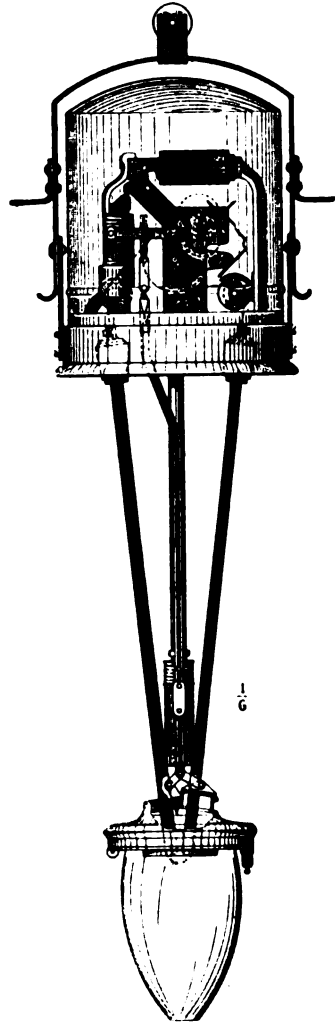


Fig. 5. — Coupe de lampe de la figure 4, montrant la disposition du levier d'oscillation et du souffleur avec appareil de court-circuit.

la figure, par un levier double qui agit sur les deux électrodes ; mais, dans d'autres lampes, on emploie un système de leviers qui agit sur un seul des charbons. Dans tous les cas, on est obligé de laisser dans l'économiseur en matière réfractaire, que traversent les deux charbons, d'assez grandes ouvertures, toujours mal fer-

mées et qui laissent monter les fumées assez abondamment dans la lampe. Ces lampes à charbons convergents sont très hautes, par suite de la nécessité de loger de très longues électrodes pour les motifs indiqués plus haut; on réduit la hauteur totale en employant de très petits globes dont l'éclat est assez aveuglant, et il ne semble pas que cette disposition, préconisée en Allemagne, soit aussi gracieuse que celle des globes ovoïdes adoptée en France (*fig. 5*).

» Pour éviter que l'usure des deux charbons soit inégale, on est obligé de maintenir les pointes dans un économiseur assez profond, qui sert d'égalisateur d'usure, parce que la pointe du charbon qui en sort le plus s'oxyde le plus rapidement; mais les fumées qui le remplissent sont opaques et réduisent le rendement. Enfin, pour éviter que l'arc remonte, il est nécessaire comme l'avaient indiqué déjà Jamin, Gérard, etc., de le souffler vers le bas par un champ magnétique produit par un électro-aimant fixé au-dessus de l'économiseur et alimenté en série par le même courant (ou compoundé, comme l'a indiqué M. Bremer). C'est un organe et un fil de plus que dans les lampes ordinaires et l'on augmente ainsi la difficulté d'entretien. Aussi, certains fabricants, tels que la Société A. E. G., ont-ils préféré augmenter jusqu'à 15° l'angle entre les charbons, et pousser l'intensité du courant jusque vers 9 ou 10 ampères et au delà, pour que le courant produise lui-même le soufflage suffisant. Il y a, du reste, intérêt à ne pas exagérer celui-ci comme on le faisait au début, car il résulte d'expériences de la Maison Siemens que, plus on étale la flamme de l'arc, en le soufflant, plus on diminue sa température et le rendement de la lampe. Le seul fait que les vapeurs non ionisées échappent à l'action magnétique et se séparent de l'arc dès la sortie de l'anode tend déjà à diminuer le rendement par rapport au cas d'une anode inférieure (¹).

» Je ne parlerai pas ici des lampes triphasées à trois charbons minéralisés, car les expériences de M. Lauriol ont montré que leur

(¹) En outre, les lampes en V, si l'on n'emploie pas des charbons privés de mèche sur les derniers centimètres, exigent un dispositif spécial de soufflage qui éteigne l'arc à fin de course pour l'empêcher de remonter et brûler l'économiseur. Par exemple, dans la lampe représentée figures 4 et 5, une tige verticale remonte et met en court-circuit l'enroulement shunt de l'électro différentiel souffleur et renforce ainsi brusquement le soufflage.

fonctionnement ne présente pas l'avantage qu'on espérait par rapport à celui des lampes monophasées, et elles constituent, par contre, des unités de lumière trop puissantes (*).

» Concurrément à ces lampes en V, les grandes maisons allemandes ont continué à fabriquer, pour les charbons à mèche minéralisée, des lampes à électrodes placées l'une au-dessous de l'autre, avec le positif en haut comme d'habitude; mais le rendement ainsi obtenu est beaucoup moins bon qu'avec les lampes en V et elles n'ont pas jusqu'ici beaucoup d'application.

» Il en est tout autrement de la solution dite *lampe à arc charbon-minéral* (2) que j'ai réalisée en 1901, par la combinaison d'un charbon négatif pur ou assez peu minéralisé pour ne pas laisser tomber de scories, et entouré d'un économiseur, qui sert à empêcher le point de vaporisation cathodique de grimper le long du négatif et à maintenir, même quand l'intensité du courant employé est faible, la cathode à une température suffisante pour que les fumées ne puissent se condenser sur elle. Toutes ces conditions sont nécessaires pour que l'arc soit stable et que les scories du négatif ne viennent pas souder les deux charbons pendant les extinctions et rendre l'allumage impossible.

» Cette solution n'aurait permis que d'augmenter assez faiblement la minéralisation du positif par suite des scories qui s'y forment, si, en même temps, les charbons n'avaient été protégés par une zone extérieure en carbone, comme je l'ai expliqué plus haut. C'est cette enveloppe qui permet d'augmenter assez la minéralisation du charbon positif inférieur pour qu'il émette d'abondantes vapeurs minérales neutres; celles-ci s'élèvent naturellement de bas en haut dans l'arc, qui les maintient incandescentes sur leur parcours; en outre, grâce à la température élevée de l'anode, ce panache de fumée présente à sa base un éclat beaucoup plus considérable que

(1) On a fait aussi des lampes en V sans mécanisme (Berk) et d'autres à magasin (Olivar), mais au prix de complications que ne paraît pas justifier suffisamment le résultat obtenu.

(2) Des lampes de ce type sont construites aujourd'hui par les principaux constructeurs français : Société Auer, M. Bardon, MM. Vigreux et Brillié, Société des téléphones, Compagnie générale Électrique, etc., avec quelques différences de forme et de mécanisme.

si le charbon inférieur était cathode. Une haute minéralisation de l'électrode supérieure donnerait, au contraire, lieu à d'abondantes

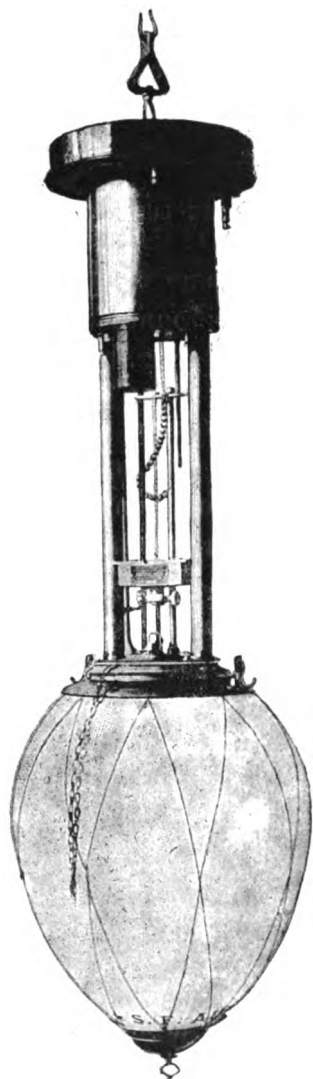


Fig. 6. — Vue générale d'une lampe à arc carbo-minéral de la Société Auor, munie d'un globe à fermeture supérieure étanche et de cheminées d'évacuation.

scories, et les vapeurs non ionisées émises s'élèveraient directement autour d'elle, au lieu de suivre l'arc. Ces faits très importants ont été mis en évidence d'une manière indiscutable par de nombreuses expériences, dont le Tableau II ci-après résume les plus frappantes.

» Les dispositions mécaniques classiques, qui ont la sanction de l'expérience, sont conservées dans les lampes à arc carbo-minéral, avec la seule différence qu'elles réalisent des écarts d'allumage plus longs et doivent présenter une puissance et une rapidité d'action plus grandes que les lampes ordinaires; je n'insiste pas sur ces détails, qu'on trouve dans les Notices des constructeurs.

III. — LAMPES A FLAMME LUMINESCENTE A L'AIR LIBRE.

Ces lampes emploient comme électrodes soit des métaux ou alliages, soit des oxydes additionnés de diverses substances minérales.

» *Électrodes dites à la magnétite.* — La condition de longue durée de fonctionnement qu'exigent les Américains pour les lampes à arc, par suite du mode d'exploitation spécial qu'ils ont adopté (et qui consiste à faire nettoyer et regarnir les lampes, le moins souvent possible, par des employés des compagnies exploitantes, et non pas par le client lui-même) a conduit les ingénieurs de la General Electric Co à rechercher, pour constituer des électrodes, un oxyde conducteur et qui s'use lentement en donnant une lumière blanche. Ils ont essayé d'abord les oxydes de fer et, en particulier, l'oxyde magnétique, qui donne un peu plus de lumière que le fer métallique ou l'oxyde rouge, et qui a une composition stable et une faible usure (3 mm à l'heure). Mais la conductibilité n'est pas encore suffisante par elle-même et l'on est obligé de chauffer les électrodes, préalablement agglomérées à la glycérine, dans un gaz réducteur, pour les amener à contenir une certaine quantité de fer réduit intimement mélangée à la masse. En outre, le rendement lumineux est faible et l'arc instable. Aussi a-t-on ajouté d'autres substances, notamment l'oxyde de titane (rutil), qui donne à l'arc des propriétés lumineuses bien supérieures à celles du fer ou de la magnétite. Comme stabilisateur, on ajoute une des substances connues : acide borique, carbonate de potasse, chromates, etc. (').

(') D'après ce que nous avons pu constater personnellement, la magnétite seule ne donne qu'un arc bien peu lumineux et l'addition de titane a seule permis de la rendre utilisable.

» La conductibilité des électrodes est enfin augmentée en les entourant d'un tube métallique, de préférence en fer; leur porosité peut être diminuée en prolongeant davantage leur cuisson.

» On a proposé aussi d'incorporer le titane ou ses composés (carbure, oxyde, etc.) dans l'électrode positive, qu'on associe à une électrode négative en carbone pur; mais l'emploi du titane à l'anode est loin de donner des résultats aussi favorables qu'à la cathode; la flamme reste rougeâtre, quoique la température plus élevée de l'anode facilite la vaporisation des composés titanés. On ne peut ajouter qu'une petite quantité de titane, car tout excès de ce corps réduit la combustion de l'électrode et produit à la pointe une accumulation de carbure peu fusible, et qui arrête le fonctionnement. Le même motif gêne pour combiner, comme je l'ai proposé, une cathode au titane avec une anode aux sels de chaux.

» L'emploi des électrodes à la magnétite ou au titane est impossible pour les lampes à courant alternatif, parce que le titane, aussi bien que la magnétite, ne permet pas le rallumage spontané de l'arc après chaque extinction. On a essayé d'ajouter du carbone à la magnétite titanifère ou à du carbure de titane, mais en fait, on préfère rectifier les courants alternatifs par des soupapes à mercure et alimenter ainsi des lampes à la magnétite ordinaire.

» *Électrodes métalliques au titane.* — Les mélanges à base de magnétite empilés dans un tube de fer, présentaient de telles fluctuations de lumière, par suite de l'hétérogénéité du mélange et de la tendance de l'arc à se former sur le tube de fer, que M. Ladoff, anciennement attaché au laboratoire de la General Electric Co, fut amené à chercher un moyen plus satisfaisant d'utiliser les propriétés lumineuses du titane et de ses composés (¹). Il constata que le défaut de conductibilité de la magnétite et la nature complètement isolante de l'acide titanique peuvent être évités si l'on réduit ces deux corps à l'état métallique, et que l'alliage ainsi obtenu ne présente pas les mêmes inconvénients que le carbure de titane, lequel est décomposé dans l'arc et ne donne pas une lumière avantageuse. D'ailleurs, la magnétite subit dans l'arc une oxydation qui la trans-

(¹) Cf. LADOFF, *L'Éclairage électrique*, 24 novembre et 8 décembre 1906.

forme en oxyde rouge en abaissant l'éclat de l'arc. Il y a donc intérêt à associer du titane métallique à du fer ou à du cuivre métallique. On réalise ainsi une électrode très conductrice, même avec des proportions de titane beaucoup plus élevées.

» En outre, l'oxydation de ces métaux dans l'arc par l'air ambiant est une cause accessoire de luminescence, s'ajoutant d'une façon avantageuse à l'effet du courant. M. Ladoff a vérifié par expérience qu'en réduisant, par des températures de plus en plus élevées, des crayons formés d'un mélange d'oxyde de fer et d'oxyde de titane, on voyait le rendement s'élever de plus en plus. Par exemple, des électrodes composées de 50 pour 100 de magnétite et de 50 pour 100 d'oxyde de titane ne produisaient, sous 3,4 ampères à 110 volts, que 700 bougies horizontales avant réduction, 1000 après réduction partielle, mais 1200 bougies après réduction totale.

» D'autre part, dans les crayons partiellement réduits, on ne peut dépasser une proportion de 7 à 8 pour 100 d'oxyde de titane sans que le papillotement et l'instabilité de l'arc deviennent exagérés; tandis qu'avec des crayons parfaitement réduits, on peut incorporer plus de 50 pour 100 d'oxyde de titane.

» Le même inventeur a essayé de véritables alliages tels que le ferro-titane et il a constaté que tous les alliages contenant du titane, même en petite quantité, réalisent le spectre et la luminescence du titane, et à un degré plus élevé que les mélanges d'oxydes; par exemple, à 3,5 ampères, la consommation, qui est de 0,7 watt par bougie avec les oxydes, tombe à 0,58 avec le ferro-titane; ces chiffres deviennent 0,436 et 0,341 à 6,6 ampères.

» Les inconvénients au point de vue des scories sont malheureusement sensiblement les mêmes qu'avec les électrodes à la magnétite, c'est-à-dire qu'il y a production d'une couche fondue à la surface de l'électrode, qui la rend isolante et force à pratiquer un allumage par contact latéral; en outre, la stabilité de l'arc formé sur cathode en métal est plus faible et exige un grand volant de voltage disponible; un arc brûlant sous 48 à 55 volts exige environ 120 volts au réseau; au delà de 55 volts, il devient très instable; on tiendra compte de cette circonstance pour l'étude comparative du rendement des différents arcs-flamme (Tableau III).

» L'inconvénient des scories est encore augmenté si l'on essaie d'employer deux électrodes au titane au lieu d'une, et ne permet pas d'utiliser cette combinaison pour accroître, comme on pouvait l'espérer, le rendement et la stabilité (1). Mais, en limitant la minéralisation à une seule électrode, on peut réaliser un fonctionnement pratique et un rendement suffisant, sinon pour atteindre celui des arcs aux sels de calcium, du moins pour triompher de l'arc en vase clos (*voir* Tableau III); la lampe au titane est donc appelée à un réel avenir aux États-Unis quand son fonctionnement mécanique sera irréprochable.

» *Construction des lampes.* — La construction des lampes à la magnétite ou au titane (*fig. 7*) est toute particulière et imposée par des circonstances spéciales; l'arc au titane étant très long et très vagabond, on est obligé de le fixer autant que possible par un courant d'air assez énergique, qui sert en même temps à entraîner les fumées, opaques et trop fortement colorées pour qu'on puisse les laisser se déposer sur un réflecteur; on fait donc jaillir l'arc au bas et dans l'axe d'une grande cheminée centrale qui traverse toute la lampe. Quant à l'électrode supérieure positive en cuivre, elle est formée d'un demi-cercle pouvant osciller autour de son axe et qui traverse la cheminée; le but de cette disposition est de permettre au secteur, dans son mouvement, au moment de l'allumage, de venir toucher l'électrode inférieure, non pas à la pointe, mais sur le côté, afin d'établir un contact sur une partie non couverte de scories. Une fois l'arc ainsi établi latéralement, il monte à la pointe de la cathode, pendant que le secteur de l'anode tourne pour prendre sa

(1) L'arc formé entre une électrode inférieure négative au titane et une anode supérieure en cuivre, donne un arc vagabond et filiforme de 3 mm de diamètre (long de 12,5 mm pour 55 volts et de 18 mm à 22 pour 70 volts). L'arc formé dans les mêmes conditions en inversant les pôles de manière que le titane inférieur soit positif présente un beaucoup plus grand volume, 6 mm ou 7 mm et 25 mm de longueur, et il devient fixe; si l'on combine les deux phénomènes en employant, en haut et en bas, des crayons de titane avec le positif en haut, l'arc prend la forme d'un cône renversé au centre duquel apparaît le noyau filiforme, sans qu'il y ait de flottements; et le rendement est, d'après M. Ladoff, notablement plus élevé; la consommation s'abaisserait à 0,3 watt par bougie sphérique, mais ce régime ne peut être maintenu que quelques instants; c'est une expérience de laboratoire.

position normale. Ce secteur en cuivre s'use modérément et n'a pas besoin d'être remplacé souvent. Par suite de la présence de la cheminée centrale, le mécanisme ne ressemble pas du tout à ceux des lampes européennes; il est formé d'une bobine d'allumage en

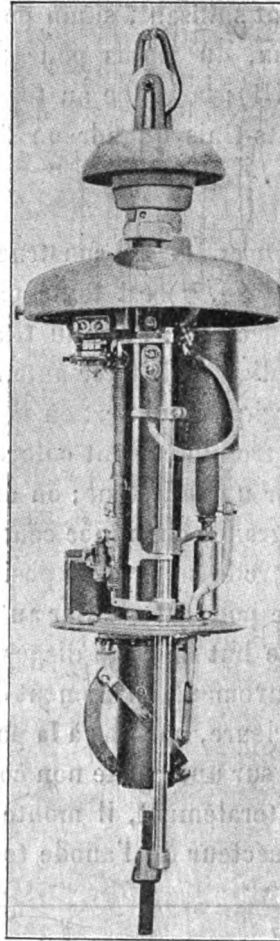


Fig. 7. — Vue générale du mécanisme d'une lampe à la magnétite de la General Electric C*.

dérivation, qui soulève par un levier coinçant la tige du porte-électrode inférieur, tandis qu'un électro-aimant en dérivation déclenche l'échappement d'un mouvement d'horlogerie, qui produit le soulèvement progressif de la tige au fur et à mesure de l'usure de l'électrode. Cette usure est d'ailleurs très faible, comme on l'a dit

plus haut (une électrode de 20 cm dure 150 à 200 heures); le rapprochement des électrodes ne se fait donc que très rarement, mais l'arc est loin de présenter la stabilité à laquelle nous sommes accoutumés. Le crochet d'attache de la lampe est fixé au sommet de la cheminée. Les renseignements sur le fonctionnement de ces lampes en service régulier sont rares jusqu'à présent, parce qu'il n'en a pas été installé beaucoup depuis leur apparition, en 1904.

(*A suivre.*)

M. le PRÉSIDENT remercie M. Dobkévitch de sa très intéressante Communication et le prie de transmettre à M. Blondel les remerciements de la Société; il ajoute :

M. GUILLAUME. — « Les courbes donnant la puissance rayonnée en fonction de la température ont été étudiées dans leurs derniers détails par quelques physiciens allemands, au premier rang desquels il faut citer M. O. Lummer. Mais les principales caractéristiques de ces courbes avaient été indiquées déjà par S.-P. Langley, dont les études sur le rayonnement ont solidement établi la réputation dès l'année 1883. Or, on a trop oublié que ces mêmes propriétés avaient été découvertes déjà, et sommairement indiquées en 1879, par notre regretté Curie, qui a laissé ainsi la trace de son génie divinateur dans le domaine du rayonnement comme dans tant d'autres.

» Il me paraît intéressant de noter que le maximum de la courbe d'émission, qui s'avance vers les courtes longueurs d'onde à mesure que s'élève la température de la source, arrive vers le milieu du spectre visible précisément pour le rayonnement solaire, tel qu'il est perçu au fond de l'atmosphère. Et, si l'on étudie de plus près la correspondance entre la sensibilité de notre œil pour les faibles intensités lumineuses et la puissance du spectre normal du Soleil au niveau du sol, on reconnaît que ces deux fonctions ont leur valeur maxima pour une même longueur d'onde, 0,54 μ environ. On en conclut que notre œil est adapté aussi bien que possible à la lumière solaire, c'est-à-dire qu'il constitue un appareil d'utilisation à rendement maximum pour cette lumière.

» La même remarque peut s'étendre à l'œil de diverses espèces animales; non point qu'on puisse interroger les animaux sur leurs

sensations, tout au plus peut-on reconnaître qu'ils sont insensibles à telle ou telle lumière (par exemple, les mouches à la lumière bleue), mais on possède un moyen indirect de connaître la sensibilité relative d'un œil donné à la radiation lumineuse. Il suffit pour cela, comme l'a fait Kœnig, de déterminer le pouvoir absorbant du pourpre rétinien, qui est l'élément de la sensation lumineuse pour les faibles éclaircissements, ce que démontre la similitude de la courbe d'absorption du pourpre de l'œil humain et de la courbe expérimentale de la sensibilité. Et, comme ce pourpre possède la même courbe d'absorption chez tous les vertébrés terrestres que l'on a pu examiner, on peut en conclure que toutes ces espèces animales sont également organisées de manière à utiliser le mieux possible la lumière solaire. C'est là une harmonie naturelle très frappante, qu'elle soit envisagée dans la théorie ancienne des causes finales ou dans l'idée moderne de l'évolution. »

ÉTUDE EXPÉRIMENTALE DES LIGNES ET DES APPAREILS TÉLÉGRAPHIQUES.

M. DEVAUX-CHARBONNEL. — « L'étude du fonctionnement des lignes et des appareils télégraphiques n'est pas sans présenter quelque difficulté, à cause de la rapidité avec laquelle le courant atteint son régime permanent. La période variable, la seule qui soit intéressante à considérer, est toujours de très courte durée, quelques millièmes de seconde à peine. De plus, l'intensité est très faible et ne dépasse pas quelques dizaines de milliampères. Dans ces conditions, il n'est pas commode de trouver des appareils de mesure qui se prêtent à ce genre de recherches, et le sujet ne paraît pas avoir jusqu'ici tenté beaucoup d'expérimentateurs.

» L'apparition de l'oscillographe bifilaire est venue rendre plus aisée la solution du problème que nous poursuivons. Sa sensibilité, en effet, est de l'ordre du milliampère et sa mobilité est suffisante pour lui permettre d'enregistrer correctement des phénomènes dont la durée est inférieure à un millième de seconde. De plus, sa résistance est d'un ohm environ, sa self-induction est inappréciable, de sorte que son intercalation en série sur une ligne ne peut apporter aucun trouble aux transmissions à étudier. Grâce à cet appareil, nous avons pu recueillir un nombre assez considérable de photographies, dans des conditions expérimentales variées, et tirer de l'étude des clichés quelques conclusions intéressantes sur la part qu'il convient d'attribuer respectivement à la ligne et au récepteur dans la formation des signaux et dans la vitesse de transmission. Mais, avant d'arriver à ce résultat, il nous a fallu étudier les constantes électriques des lignes et des appareils, et comme nous n'avons pas toujours trouvé dans les travaux antérieurs des renseignements suffisamment précis, nous ne croyons pas inutile d'exposer les méthodes que nous avons employées, et de donner les chiffres que nous avons trouvés, car, sans cette étude préliminaire, il nous aurait été impossible d'interpréter les faits que l'expérimentation nous a révélés.

PREMIÈRE PARTIE.

Constantes des lignes unifilaires.

» Une ligne électrique unifilaire, bien que formée d'un seul fil métallique, ne constitue pas un conducteur unique, mais bien un véritable réseau de conducteurs. Le fil n'est pas plongé dans un milieu parfaitement isolant. Il est soutenu sur les appuis par des supports en porcelaine qui, malgré leur nom d'isolateurs, laissent passer une certaine quantité de courant. De plus, le fil porté par la pile de travail à un certain potentiel, se trouve en présence d'autres corps conducteurs, terre, fils voisins, tiges des isolateurs, appuis métalliques, arbres, constructions, etc. Il forme l'armature d'un condensateur dont l'autre face est constituée par toutes les masses conductrices environnantes.

» Ces deux phénomènes, condensation par capacité et pertes par défaut d'isolement, se produisent sur toute la longueur du fil et sont, en chaque point, autant de dérivations allant au sol ou aux conducteurs voisins. Nous devons encore ajouter l'induction des fils en service sur les différentes parties du parcours, qui font que la ligne est soumise, en certains points, à des forces électromotrices différentes de celle de la pile de travail. De tout ceci il résulte que la ligne forme un véritable réseau de conducteurs.

» Il est aisé de comprendre pourquoi la détermination des constantes d'une ligne électrique est une opération difficile. On se trouve en présence d'un réseau très compliqué, mal connu, dont les extrémités seules sont accessibles, et il faut extraire des phénomènes qu'on peut produire et étudier aux deux extrémités la part qui revient à une branche particulière de ce réseau.

» Le problème n'est pas commode à résoudre et nous allons voir à quels artifices on a dû recourir.

» Tout d'abord, on peut remarquer que la capacité et la self-induction n'interviennent que pendant les périodes de variation du courant. On n'aura donc pas à en tenir compte, en opérant en régime permanent. Ce sera là une grande simplification et voilà pourquoi la mesure de la résistance et de l'isolement s'opère assez commodément.

» Au contraire, il faut avoir recours à des méthodes moins simples et quelquefois même à quelques calculs pour déterminer la capacité et la self-induction.

» Nous commencerons par les constantes qui se mesurent en régime permanent : la résistance et l'isolement.

I. — RÉSISTANCE ET ISOLEMENT.

» Si la ligne était parfaitement isolée, il semble que, pour trouver sa résistance, il suffirait de mesurer le courant qu'y produirait une force électromotrice E . La loi d'Ohm donnerait R par la formule

$$I = \frac{E}{R}.$$

» Nous pouvons admettre, en première approximation, que l'isolement est parfait ; nous verrons tout à l'heure comment on peut tenir compte des pertes qui, en général, n'ont pas une valeur très élevée. Mais nous ne sommes pas en droit de supposer que la force électromotrice E est invariable et bien définie.

» Nous allons voir, en effet, que les lignes, qui sont à leurs extrémités en communication avec le sol, sont parcourues constamment par des courants, même en l'absence de toute pile électrique. Ces courants peuvent se ranger en deux grandes catégories : les courants telluriques et les courants vagabonds.

» *Courants telluriques.* — L'état électrique du sol à la surface de la terre n'est ni uniforme, ni constant. A un même instant, deux points différents sont à des potentiels différents. Si on les réunit par un conducteur métallique, ce conducteur devient le siège d'un courant dont la force électromotrice peut se déduire de la loi d'Ohm si la résistance est connue. En général, quand les deux points reliés sont loin de toute installation industrielle, que l'atmosphère est en état d'équilibre électrique, ces courants sont à peu près constants, ou du moins ne varient que très lentement. Les lois qui les gouvernent n'ont pas encore été établies. On sait cependant qu'ils sont plus intenses de l'Est à l'Ouest que du Nord au Sud.

» *Courants vagabonds.* — On désigne ainsi les courants quel-

quelques fois intenses et toujours très rapidement variables qui proviennent des installations industrielles, aussi bien des installations de tramways électriques que des bureaux télégraphiques et qui, se répandant dans le sol, en font varier l'état électrique à chaque instant.

» Voici, à titre d'exemple, des observations que nous avons faites le 8 mars 1905, vers 4 h du soir, sur un fil reliant le poste central des télégraphes de Paris à la guérite de Sceaux-Ceinture.

Mi- nutes.	0 seconde.	10 secondes.	20 secondes.	30 secondes.	40 secondes.	50 secondes.
0.	—0,45 volt	—0,50 volt	—0,85 volt	—0,60 volt	—0,20 volt	—0,10 volt
1.	—0,03 —	+0,20 —	+0,15 —	+0,30 —	+0,10 —	—0,25 —
2.	—0,20 —	+0,10 —	+0,10 —	+0,30 —	+0,20 —	—0,30 —
3.	—0,40 —	—0,50 —	—0,60 —	—0,50 —	—0,30 —	—0,20 —
4.	—0,00 —	—0,20 —	—0,60 —	—0,40 —	—0,20 —	—0,50 —

» On voit que, pendant l'intervalle de 5 minutes qu'ont duré les observations, le courant était constamment variable. Les valeurs prises toutes les 10 secondes permettent de suivre son allure générale, mais, ce qu'il n'est pas possible de représenter dans un Tableau, ce sont les variations incessantes et très rapides qui se produisaient dans l'intervalle même de 10 secondes. Nous donnons plus loin, à l'occasion des lignes, des relevés à l'oscillographe qui permettent de se faire une idée du phénomène et des variations qui se produisent pendant un temps très court, $\frac{1}{10}$ de seconde environ.

» Dans l'exemple cité plus haut, la tension ne dépasse pas 1 volt, mais il est des cas où elle est beaucoup plus élevée. On sait que le long des voies de tramways, la perte de charge peut atteindre 1 volt par kilomètre. Si la voie est longue, on peut avoir entre les points extrêmes des différences de potentiel supérieures à 10 volts.

» *Effet des courants parasites.* — Si une ligne, soumise à une force électromotrice E , est en même temps parcourue par d'autres courants, dus à une force électromotrice étrangère e , que nous appellerons la *force électromotrice parasite*, le courant principal est, suivant le signe respectif de E et de e , augmenté ou diminué. Il est aisé de montrer que la force électromotrice parasite est analogue dans ses effets à une variation de la résistance de la ligne.

» En effet, supposons qu'elle soit de signe contraire à E , la formule d'Ohm donne, pour le courant

$$I = \frac{E - e}{R}.$$

» Le courant I aurait la même valeur si la résistance était augmentée de la quantité r , telle que

$$I = \frac{E}{R + r}.$$

» On tire de là

$$E = RI + e = RI + rI,$$

d'où

$$r = \frac{e}{I}.$$

» Quand on cherchera à mesurer des résistances, la présence de courants parasites aura pour effet de faire varier la résistance apparente de la ligne et nous allons voir quelle méthode il convient d'employer pour obtenir la résistance vraie.

» *Mesure des résistances.* — Nous devons distinguer deux cas, suivant que les courants parasites seront du genre des courants telluriques, c'est-à-dire lentement variables, ou du genre des courants vagabonds, c'est-à-dire très rapidement variables. Dans le premier cas, la méthode du pont de Wheatstone donnera de bons résultats; dans le deuxième, on devra avoir recours à la méthode de la déviation directe.

» *Pont de Wheatstone.* — Tous les praticiens savent que les résultats obtenus au pont sont différents suivant qu'on opère avec le pôle positif ou le pôle négatif de la pile. En effet, soient i_p le courant qui circule dans la ligne avec le pôle positif et i_n celui qui est produit par le pôle négatif.

» La résistance mesurée sera dans le premier cas

$$R_p = R + \frac{e}{i_p},$$

dans le deuxième

$$R_n = R - \frac{e}{i_n}.$$

» On prend quelquefois, pour valeur de la résistance vraie R , la moyenne de R_p et de R_n . Ceci n'est rigoureusement exact qu'à la condition que e n'ait pas varié pendant l'intervalle des mesures et que i_p soit égal à i_n . Cette dernière condition n'est jamais remplie, puisque le réglage du pont et la valeur des boîtes de résistance est différente dans les deux opérations.

» Pour éviter cette difficulté, on a quelquefois recours à la méthode de Mance, qui consiste à opérer avec des branches de proportions différentes et à éliminer e par le calcul. Nous croyons utile de signaler une méthode beaucoup plus simple et très exacte, bien que moins connue, c'est celle de Black.

» La quatrième branche du pont (*fig. 1*) comprend, en plus de

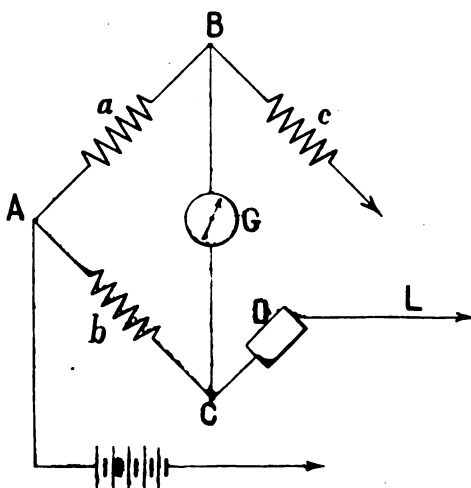


Fig. 1.

la ligne à mesurer, une boîte de résistance D . On opère avec les deux courants, mais on n'établit le réglage qu'en faisant varier D , sans toucher aux branches de proportion a et b , ni à la résistance de comparaison c . Le courant qui circule dans les branches a et c est le même dans les différents réglages, de même celui qui circule dans b , puisque le galvanomètre reste en équilibre, et, par conséquent, celui aussi qui passe dans la ligne L . Si l'on suppose, pour simplifier, les branches de proportions a et b égales, on aura, en désignant par i le courant, par D_p et D_n la valeur de D en positif et

en négatif,

$$c = D_p + R + \frac{e}{i} = D_n + R - \frac{e}{i},$$

d'où

$$R = \frac{2c - D_p - D_n}{2}.$$

» Le calcul aussi bien que le mode opératoire sont des plus simples.

» *Déviatiou directe.* — Si la force électromotrice est constamment variable, il est impossible d'employer le pont de Wheastone, ou toute autre méthode qui exige que l'équilibre soit atteint.

» Depuis longtemps nous faisons usage de la méthode de la déviatiou directe que nous avons modifiée, de manière à la rendre commode et à pouvoir calculer, en même temps, la force électromotrice parasite.

» Observons la déviatiou produite dans un galvanomètre apériodique par la pile E de résistance P, à travers la ligne R. On aura, si e est la force électromotrice parasite,

$$I = \frac{E - e}{R + P}.$$

» Supprimons la pile E, en laissant à sa place une résistance égale P. Nous avons une nouvelle déviatiou correspondant au courant i

$$i = \frac{-e}{R + P}.$$

» S'il n'y avait pas de force électromotrice parasite, on aurait un courant

$$I_1 = I - i = \frac{E}{R + P},$$

et comme les déviations du galvanomètre sont sensiblement proportionnelles au courant, la déviatiou aurait été la somme algébrique des deux déviations observées. Il suffira donc de reproduire la déviatiou ainsi calculée au moyen de la même pile et d'une boîte de résistance pour avoir R qui sera justement la résistance lue sur la boîte, au moment où le réglage sera obtenu.

» D'ailleurs, les piles employées aujourd'hui ont une résistance

intérieure très faible qui peut être négligée devant celle de la ligne. De sorte qu'il n'est pas utile, au moment de la suppression de la pile, d'introduire une résistance P . Le montage est très simple et est représenté figure 2.

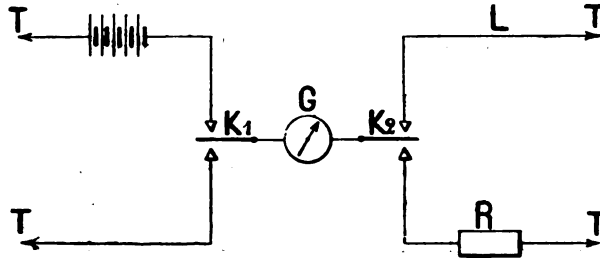


Fig. 2.

» La clef K_1 permet de supprimer la pile et K_2 de substituer une boîte de résistance R à la ligne L , T indique la connexion avec la terre.

» Voici, à titre d'exemple, une série de mesures faites le 24 mars 1906 :

Déviation		
Pile 10 volts.	Terre.	Résultante.
72	+ 6	78
73	+ 6	79
85	— 6	79
90	— 12	78
83	— 4	79
82	— 2	80
85	— 5	80
83	— 3	80
80	— 2	78
83	— 3	80
82	— 4	78
82	— 2	80
82	— 3	79
71	+ 7	78
50	+ 30	80
35	+ 45	80
62	+ 18	80

» La moyenne des déviations calculées est 79 correspondant à

218 ohms. Une division donnait une variation de 4 ohms. La ligne en expérience aboutissait non loin d'Athis-Mons. Elle était influencée par le passage des trains électriques circulant entre Paris et Juvisy. Les lectures successives peuvent être très rapprochées, tellement que les nombres individuels résultants s'écartent peu de la moyenne générale, ce qui est un des avantages de la méthode. De plus, la tension du courant parasite a varié entre -12 et $+45$ divisions, alors que 10 volts donnent 79 divisions. On en déduit immédiatement que la force électromotrice e a oscillé entre $-1,5$ volt et $+5,7$ volts.

» Dans tous les cas où la force électromotrice varie rapidement, cette méthode est très commode et aussi exacte que semble le permettre la difficulté de la mesure à effectuer. Elle nous a donné d'excellents résultats pour la recherche des défauts sur les câbles sous-marins. Dans ce dernier cas, les courants parasites ne sont pas gênants en général, mais il faut éliminer la force contre-électromotrice d'électrolyse qui se produit, au défaut, par suite de la décomposition de l'eau de mer, et il faut opérer très rapidement pour obtenir deux résultats qui puissent être combinés, c'est-à-dire qui correspondent à la même valeur de la polarisation.

» Enfin, il est bon de remarquer que la méthode s'applique encore dans le cas où la force électromotrice parasite est produite par l'induction de conducteurs voisins.

» *Mesure de l'isolement.* — La mesure de l'isolement se fait également par la méthode de la déviation directe. On compare le courant de perte de la ligne à celui qui circule à travers une résistance élevée, 1 mégohm, par exemple. Cette mesure se fait sans aucune difficulté, au moins pour les lignes aériennes. Il n'entre pas dans le cadre de cette étude de traiter le cas des lignes souterraines ou sous-marines.

» *Conclusion.* — Nous avons montré comment, malgré la présence des courants parasites, on pouvait calculer la résistance électrique d'une ligne à simple fil. La valeur ainsi obtenue représente-t-elle bien la résistance du conducteur? Non, si l'isolement n'est pas parfait, car il ne faut pas oublier que nous avons

affaire à un réseau de conducteurs. Pour déduire de la résistance observée la résistance vraie, il faut tenir compte de l'isolement et l'on doit avoir recours au calcul.

» La question n'a pas été traitée dans toute sa généralité; mais elle a été étudiée par MM. Vaschy et Barbarat, dans le cas où le défaut d'isolement provient d'une perte uniforme, le long de la ligne. On peut admettre que ce sera le cas qui se présentera le plus souvent, en pratique, sur une ligne bien établie et bien entretenue. Des Tables ont été calculées, de sorte que la solution du problème est des plus simple. Nous nous contenterons de donner l'extrait suivant

$\frac{R_t}{R_i}$	$\frac{I_a}{I_d}$	$\frac{R}{R_i}$
0,001	0,999	1,0004
0,050	0,974	1,018
0,100	0,949	1,035

» La première colonne donne le rapport de la résistance mesurée R_t du conducteur à son isolement R_i . La deuxième le rapport du courant d'arrivée I_a au courant de départ I_d , enfin, la troisième le rapport de la résistance vraie du conducteur R à la résistance mesurée R_t .

» Supposons une ligne de Paris à Marseille. On aura, par exemple,

$$R_t = 3000 \text{ ohms}, \quad R_i = 30000 \text{ ohms}, \quad \frac{R_t}{R_i} = 0,10.$$

» La résistance vraie sera

$$R = R_t \times 1,035 = 3105 \text{ ohms}.$$

» Elle sera supérieure de 105 ohms à la résistance mesurée.

» La différence sera d'autant plus grande que la ligne sera plus mal isolée. On constate bien, en effet, que la résistance diminue en temps de pluie, et qu'elle augmente par temps sec.

» Quoi qu'il en soit, nous sommes maintenant en état de tenir compte des défauts d'isolement, aussi bien que des courants parasites, et, par conséquent, malgré la complexité du problème, de déterminer la résistance vraie d'un conducteur.

II. — CAPACITÉ.

» La capacité d'une ligne sera la charge qu'elle prendra, quand, isolée à une extrémité, on la mettra en relation avec une force électromotrice égale à l'unité. Généralement, la capacité se détermine en comparant la charge prise par la ligne à celle d'un condensateur de capacité connue et chargé au moyen de la même pile. C'est à cette méthode que nous nous sommes arrêté, après en avoir essayé un certain nombre d'autres qui ne nous ont paru ni précises, ni commodes. Elle a pour elle l'avantage d'une grande simplicité. On compare les charges de la ligne et du condensateur en les faisant passer à travers un galvanomètre balistique. Les elongations sont proportionnelles aux charges. Mais il est bon de se rendre compte des causes d'erreur qu'on peut rencontrer, afin de pouvoir en corriger les résultats.

» *Causes d'erreur : 1° Résistance.* — Rappelons tout d'abord que la ligne ne se charge pas instantanément. Le temps de charge dépend de la constante de temps, c'est-à-dire du produit CR , de la capacité par la résistance du conducteur. La charge n'est pratiquement complète qu'au bout d'un temps égal à $2CR$. Le rapport de la charge Q à la charge totale Q_0 varie en fonction du temps conformément au Tableau suivant : Nous rappellerons que

$$\frac{Q}{Q_0} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \left(1 - e^{-\frac{n^2 \pi^2 t}{4CR}} \right).$$

$\frac{t}{CR}$	$\frac{Q}{Q_0}$
0,1	0,34
0,2	0,50
0,3	0,60
0,4	0,68
0,5	0,76
1,0	0,93
1,5	0,97
2,0	1,00

» Le temps de charge, quoique généralement court, est souvent appréciable. Ainsi, pour une ligne en cuivre de Paris à Marseille,

on aurait environ :

$$C = 8 \text{ microfarads,}$$

$$R = 3000 \text{ ohms,}$$

$$CR = 0,024 \text{ seconde,}$$

$$2CR = 0,048 \text{ seconde,}$$

soit près de $\frac{5}{100}$ de seconde.

» 2° *Courants telluriques et courants induits.* — Pour calculer la capacité, nous supposons que le condensateur de comparaison est chargé avec la même pile que la ligne. Mais nous savons que la ligne est soumise à des forces électromotrices parasites provenant des courants de terre et des courants induits. Pour éliminer leur influence, deux moyens se présentent : soit déterminer la charge qu'ils donnent à la ligne, quand la pile n'y est pas appliquée, soit diriger les opérations de façon à les faire disparaître du résultat final; le deuxième moyen paraît le plus commode et le plus exact. On prendra pour la pile une force électromotrice aussi élevée que possible, de manière à rendre toujours plus faible l'effet relatif des causes perturbatrices, puis on opérera successivement avec les deux pôles de la pile; de cette façon une force électromotrice parasite, qui ajoutait son effet à celui du pôle positif, le retranchera de celui du pôle négatif et inversement; la moyenne des résultats sera débarrassée de cette cause d'erreur.

» 3° *Isolement.* — Si la ligne est mal isolée, le courant de charge sera augmenté du courant de perte. L'élongation du balistique sera faussée; mais de plus, comme le courant de perte est un courant permanent, son action tendra à donner au galvanomètre une déviation permanente, de sorte que toute mesure sera rendue impossible.

» On peut essayer de se libérer du courant de perte en chargeant la ligne pendant un temps très court. Nous avons vu que la charge n'est pas instantanée et que ce temps ne peut pas être réduit au-dessous d'une certaine limite. Généralement ce temps est encore trop grand et la mesure est impossible.

» Le seul moyen qui nous ait paru pratique est d'opérer non pas avec le courant de charge, mais avec celui de décharge. Nous

n'avons plus de courant de perte. Mais la charge que l'on recueille dans le balistique peut être notablement inférieure à celle de la ligne, car une partie a pu se perdre par défaut d'isolement, si l'on n'a pas mis en relation la ligne avec le balistique, dès qu'on a supprimé la pile de charge.

» Ce mouvement se fait au moyen d'une clef de décharge. Il faut donc que le passage du levier qui est relié à la ligne, du plot pile au plot galvanomètre, soit très rapide. Mais, quelle que soit la rapidité de fonctionnement de la clef de décharge, la ligne restera isolée un instant, et il est indispensable, pour déterminer l'importance de la perte qui se produit alors, de connaître le temps qui est nécessaire au levier pour passer d'un contact à l'autre.

» *Durée de fonctionnement de la clef de décharge.* — Pour mesurer ce temps nous avons employé une méthode nouvelle que nous avons imaginée à cet effet, et qui permet de mesurer très exactement des durées très courtes, de l'ordre du millième, voire même du millionième de seconde.

» Voici très brièvement en quoi elle consiste. Prenons un condensateur C , en série avec une résistance R , et chargeons le tout par une pile E . On sait que la charge du condensateur n'est pas instantanée. La charge finale sera

$$Q_0 = CE.$$

» Mais, au bout d'un temps t , la charge prise par le condensateur ne sera que

$$Q = Q_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{CR}} \right).$$

» Pendant la décharge, le phénomène sera le même. Au bout d'un temps t la charge qui restera sur le condensateur sera

$$Q_1 = Q_0 - Q = Q_0 e^{-\frac{t}{CR}}.$$

» Les quantités Q_0 et Q_1 se mesurent sans difficulté au galvanomètre balistique et le rapport

$$\frac{Q_1}{Q_0} = e^{-\frac{t}{CR}}$$

permettra, connaissant C et R , de calculer t , c'est-à-dire le temps pendant lequel le condensateur se sera déchargé.

» L'expérience se dispose comme l'indique la figure 3. Le con-

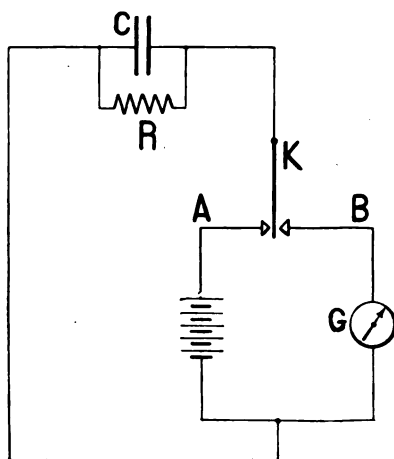


Fig. 3.

densateur C est shunté par une résistance R . La clef K de décharge peut s'appuyer en A sur le contact-pile et en B sur le contact-galvanomètre.

» Au moment où elle quitte A , le condensateur se trouve fermé sur lui-même par la résistance R , il se décharge en partie et la charge restante s'écoulera à travers le galvanomètre dès que le contact B sera atteint.

» En faisant varier R on fait varier la charge restante; si la méthode est bonne, et si la clef fonctionne d'une manière régulière, on doit toujours trouver la même valeur pour t . C'est ce que nous avons constaté, et c'est ce que résume le Tableau suivant. Le condensateur C était de 1 microfarad :

R .	$\frac{Q_1}{Q_0}$.	$\frac{t}{CR}$.	t .
800 ohms.....	0,25	1,40	0,0011 seconde
1 000 —	0,34	1,07	0,0011 —
2 000 —	0,54	0,60	0,0012 —
3 000 —	0,69	0,37	0,0011 —
5 000 —	0,78	0,24	0,0012 —
8 000 —	0,86	0,14	0,0011 —
10 000 —	0,88	0,12	0,0012 —
100 000 —	0,987	0,013	0,0013 —

» On voit qu'à $\frac{1}{10000}$ de seconde près on trouve toujours les mêmes nombres. Ceci prouve que la clef fonctionne très régulièrement et que la méthode permet de mesurer très exactement des temps excessivement courts. On peut l'appliquer dans un grand nombre de cas. Nous nous contenterons de signaler que nous l'avons utilisée pour déterminer la vitesse avec laquelle le levier de la clef passe du butoir-pile sur le butoir-galvanomètre. Nous avons trouvé que, pour franchir une distance de 1 mm, il lui fallait $\frac{6}{1000}$ de seconde. On en déduit que la vitesse est de 600 m à la seconde.

» *Mesure de la capacité.* — Rappelons sommairement comment se fait la mesure. La ligne L, isolée à l'extrémité éloignée, est reliée au levier K de la clef de décharge; on charge la ligne en abaissant

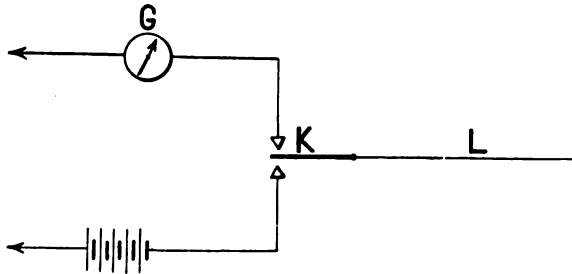


Fig. 4.

la clef sur le contact-pile, et on laisse brusquement le levier revenir sur le contact-galvanomètre. On observe l'élongation du galvanomètre. On prend pour E une pile de 100 volts. On intervertit les pôles et l'on prend la moyenne des nombres obtenus. On détermine l'élongation donnée dans le galvanomètre par la même pile et un condensateur de capacité connue. On en déduit la capacité de la ligne par comparaison. Mais il faut auparavant corriger l'élongation moyenne, mesurée pour la ligne, des erreurs expérimentales.

» *Correction des erreurs.* — Nous avons vu que les erreurs provenant des courants parasites étaient éliminées en employant successivement les deux pôles de la pile. Pour tenir compte du défaut d'isolement on opérera de la manière suivante : Pendant le mouvement de la clef de décharge, la ligne est chargée au potentiel E. L'isolement étant S, si l'on admet que le temps t de fonc-

tionnement de la clef est très court, le potentiel variera peu, et la quantité d'électricité qui se perdra sera

$$q = \frac{E}{S} t.$$

» La charge de la ligne étant

$$Q = CE,$$

on aura

$$\frac{q}{Q} = \frac{t}{CS}.$$

» Il semble donc que la perte q est d'autant moindre que la capacité est plus grande et qu'on a intérêt à opérer sur des lignes longues. Il n'en est rien, car il convient de remarquer que l'isolement diminue d'autant avec la longueur.

» Soient γ et σ la capacité et l'isolement par unité de longueur, on aura

$$C = \gamma l, \quad S = \frac{\sigma}{l},$$

de sorte que

$$CS = \gamma \sigma$$

et

$$\frac{q}{Q} = \frac{t}{\gamma \sigma}.$$

» Le pour 100 de perte est donc indépendant de la longueur des lignes en expérience; il ne dépend que de leur état électrique général.

» Quand une ligne est en bon état, on peut admettre que l'isolement kilométrique est de 10 mégohms. On a, d'autre part, pour γ , une valeur voisine de $\frac{1}{100}$ de microfarad et pour t de $\frac{1}{1000}$ de seconde. Alors

$$\frac{q}{Q} = \frac{0,001}{10 \times 0,01} = 0,01.$$

» La correction est faible. Elle ne dépasse pas 1 pour 100.

» *Résultats.* — Les résultats que nous avons obtenus sont résumés dans le Tableau suivant. Ils ont été corrigés des erreurs expérimentales :

	Isolement en mégohms.	Capacité en microfarads.
Fil de fer 4 mm.....	0,4	0,0105
—	14,0	0,0090
—	84,0	0,0087
Fil de fer 5 mm.....	0,5	0,0120
—	8,5	0,0109
—	68,0	0,0090
Fil de cuivre 4 mm.....	22	0,00976
— 5 mm.....	100	0,00951
Câble sous papier 1 mm...	500	0,061
— 2 — ...	500	0,077
— 2,5 — ...	500	0,056
— 5 — ...	500	0,059
Câble sous gutta B.....	500	0,27

» Pour les lignes aériennes la capacité varie sensiblement avec l'isolement. Ceci est facile à concevoir. Quand l'isolement diminue, c'est que l'atmosphère est plus humide. Alors beaucoup de surfaces qui sont au voisinage des fils deviennent conductrices. L'armature des condensateurs, dont le fil forme une première face, devient plus grande, et il en résulte une augmentation de la capacité. Le voisinage de masses conductrices suffit également à expliquer pourquoi la capacité qu'on mesure est supérieure au nombre calculé théoriquement en ne tenant compte que du sol. Rappelons que ces nombres sont les suivants :

Fil de 5 mm	à 5 m de hauteur	0,00603 microfarad
— 2,5 mm	—	0,00557 »

» *Conclusion.* — Nous sommes amenés à conclure que, malgré une opinion très répandue, la capacité des lignes aériennes n'est pas difficile à mesurer. Cette opération est même peut-être plus simple que la mesure de la résistance. Elle comporte la même précision, quelle que soit la longueur de la ligne en expérience; elle devrait donc être pratiquée d'une façon courante et permettrait, notamment, de déterminer, avec une précision suffisante, le point de rupture d'un fil dont l'extrémité est isolée.

» Quoi qu'il en soit, il semble, d'après les résultats que nous avons obtenus, que la capacité des fils augmente avec leur diamètre et avec l'humidité de l'air. Les variations observées ne sont cependant pas très grandes, et l'on peut admettre, sans grande

erreur, que la valeur de la capacité des lignes aériennes est de 0,009 microfarad par kilomètre, dans les conditions ordinaires.

III. — SELF-INDUCTION.

» La self-induction des lignes unifilaires est l'élément le plus difficile à déterminer. Il est aisé d'en comprendre la raison. Les quantités d'électricité mises en jeu sont faibles. On sait que si l'on désigne par L et par R la self-induction et la résistance, l'effet de la self-induction se traduit par la production à la fermeture du circuit d'une quantité d'électricité Q donnée par la formule

$$Q = \frac{L}{R} I.$$

» A l'ouverture il se produit une quantité égale, mais de signe contraire.

» Si l'on opère avec un courant de 10 milliampères, en admettant que L et R soient respectivement égaux à 0,002 henry et à 5 ohms par kilomètre, Q n'est pas supérieur à 4 microcoulombs. Si la ligne a 500 km de longueur, sa capacité sera de 4,5 microfarads, et la charge qu'elle prendra avec une pile de 1 volt sera supérieure à la quantité Q qui intervient dans le phénomène de self-induction. On voit donc que, pour étudier la self-induction d'une ligne, il faudra tenir compte d'un certain nombre de phénomènes accessoires qui viendront troubler le phénomène principal et que nous allons brièvement examiner.

» *Courants parasites.* — Il faudra tout d'abord se débarrasser, autant que possible, des courants provenant soit des variations de l'état électrique du sol, soit de l'induction des conducteurs voisins. Pour éliminer l'influence de la terre, nous n'avons trouvé d'autre moyen à employer que de la supprimer. Nous avons opéré sur des boucles métalliques, en choisissant deux conducteurs suivant des itinéraires très différents, mais ayant leurs extrémités communes. Pour éliminer la quantité d'électricité induite par les fils voisins, il faut avoir recours à l'accumulation des charges. Au lieu de mesurer la quantité Q produite par une seule fermeture, ou une seule ouverture du circuit, on emploie un manipulateur-inverseur,

qui fait passer dans le galvanomètre le courant d'ouverture et le courant de fermeture en sens inverse l'un de l'autre, de façon que leurs effets s'ajoutent; de plus, le circuit est ouvert plusieurs fois par seconde, jusqu'à 50 fois, de sorte que la quantité d'électricité considérée devient 100 fois plus grande et peut rendre négligeable celle qui provient des courants d'induction.

» *Influence de la capacité.* — Nous savons qu'un condensateur C , shunté par une résistance R , est équivalent à une self-induction négative égale à $-CR^2$.

» Si nous considérons un élément AB d'une ligne AD , à la terre à l'extrémité D , figure 5, nous pourrions admettre qu'à cause de la

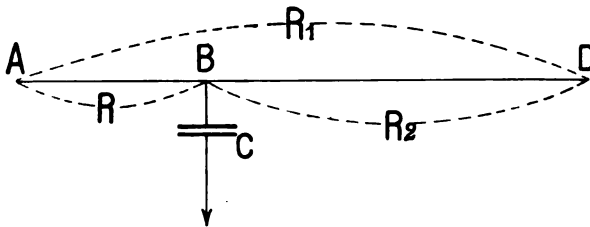


Fig. 5.

capacité il y a un petit condensateur en B , de capacité C . L'effet de cette capacité, combinée à la résistance R_2 de BD , produira une self-induction négative $-CR_2^2$ qui diminuera d'autant la self-induction de la partie AB .

» En traitant la question par le calcul, on trouve que si R est la résistance de la partie AB , C sa capacité et R_1 la résistance totale de la partie AD , la diminution de self-induction due à la partie AB de la ligne est égale à

$$\frac{1}{3} \frac{C}{R} (R_1^3 - R_2^3).$$

» Dans le cas où la ligne est homogène, cette formule se réduit à

$$\frac{1}{3} CR^3$$

pour la correction due à la ligne entière, et la self-induction apparente mesurée L_1 , est liée à la self-induction vraie L par la formule

$$L_1 = L - \frac{1}{3} CR^3.$$

» Il est donc assez facile de tenir compte de la capacité de la ligne, mais il faut avoir bien soin de ne pas oublier que les quantités R_1 et R_2 représentent des résistances mesurées depuis un certain point jusqu'à un point en relation avec le sol ou au potentiel zéro. Nous montrerons plus loin comment on peut déterminer ce point, dans le cas où l'on opère sur une boucle métallique n'ayant aucune communication avec le sol. Mais, auparavant, nous rappellerons comment on mesure la self-induction apparente des lignes.

» *Mesure de la self-induction apparente.* — On emploie le dispositif du pont de Wheastone, en introduisant dans la branche de comparaison BD, en plus de la résistance C , un appareil qui se

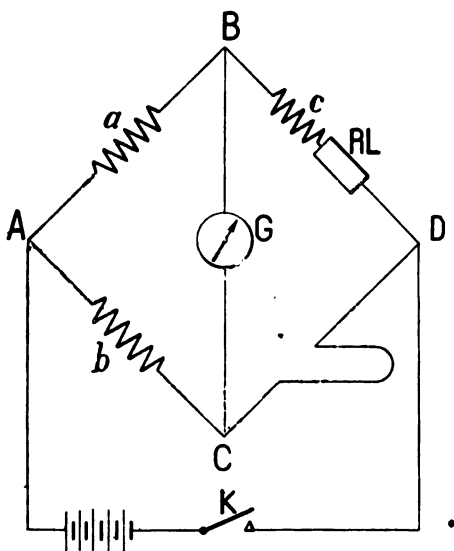


Fig. 6.

compose de deux bobines horizontales ayant une self-induction à peu près égale S , et dont l'une, située à l'intérieur de l'autre, et d'une façon bien symétrique, peut pivoter autour d'un axe vertical. Quand les deux bobines sont parallèles, leur coefficient d'induction mutuelle est égale à S , de sorte que la self-induction totale, qui se compose de la self-induction de chacune, augmentée de l'induction de chacune à travers l'autre, se trouve égale à $4S$. Si l'on fait tourner la bobine intérieure de 180° , l'induction mutuelle conserve la même valeur absolue, mais devient négative, et la self-induction

totale de l'ensemble est nulle. Dans les positions intermédiaires la self-induction varie de $4S$ à zéro, et la résistance reste constante.

» On commence par régler le pont en courant permanent de manière qu'il y ait équilibre. Puis on fait varier la self-induction de comparaison jusqu'à ce que l'équilibre se maintienne quand on ouvre ou qu'on ferme la clef de pile. Le réglage est facile à obtenir puisque les résistances des différentes branches demeurent invariables. La self-induction à mesurer X est alors donnée par la même formule que les résistances mesurées au pont

$$X = \frac{b}{a} L.$$

» Comme nous l'avons dit plus haut, la clef de pile K est remplacée par un manipulateur spécial que nous ne pouvons décrire, et qui augmente beaucoup la sensibilité de la méthode, en ouvrant et fermant le circuit jusqu'à 50 fois par seconde, et en diminuant de cette manière l'influence des courants induits par les fils voisins, en même temps qu'il inverse les connexions du galvanomètre, de manière à y faire circuler les courants d'ouverture et de fermeture en sens contraire pour que leurs effets soient concordants.

» Quand la self-induction apparente est négative, on remplace la self-induction de comparaison par une capacité shuntée par une résistance.

» *Calcul de la self-induction vraie.* — Le résultat de la mesure est la valeur de la self-induction apparente. Pour avoir la self-induction vraie, il faut éliminer l'influence de la capacité. Pour cela il faut, ainsi que nous l'avons expliqué, calculer pour chaque partie de la ligne un terme correctif dont nous avons donné la valeur, et qui dépend de la position du point de la ligne qui est au potentiel du sol. Or, quel est ce point pour une ligne n'ayant aucun point à la terre? Nous allons démontrer expérimentalement que ce point n'est autre que le milieu de la ligne.

» Prenons deux conducteurs souterrains, isolés à la gutta, et de 4,5 km de longueur.

» Nous les bouclons et nous mesurons leur self-induction apparente. Nous trouvons

$$L' = 0,0073 \text{ henry.}$$

» Mettons l'origine de la ligne à la terre, nous trouvons

$$L'' = 0,0020 \text{ henry.}$$

» Nous voyons nettement l'influence de la position du point au potentiel zéro. Nous avons les données suivantes :

$$C = 2,05 \text{ microfarads, } \frac{1}{3} CR^2 = 0,0071, \quad R = 104,5 \text{ ohms.}$$

» Dans le cas où la terre est au début de la ligne, la correction de capacité est égale à 0,0071. La self-induction vraie est

$$L = L'' + \frac{1}{3} CR^2 = 0,0020 + 0,0071 = 0,0091.$$

» Si nous admettons que sans terre le milieu de la ligne est au potentiel zéro, nous aurons une correction, pour chaque moitié de la ligne, égale à

$$\frac{1}{3} \times \frac{C}{2} \times \frac{R^2}{4},$$

puisque, pour chacune de ces parties, la capacité et la résistance sont juste la moitié de celles de la ligne entière, et pour toute la ligne la correction sera

$$\frac{1}{3} \frac{CR^2}{4} = 0,0018.$$

» La self-induction vraie est donc

$$L = L' + \frac{CR^2}{3 \times 4} = 0,0073 + 0,0018 = 0,0091.$$

» On retombe sur la même valeur, donc l'hypothèse est correcte.

» Nous avons opéré la même vérification sur une ligne non homogène, composée d'un conducteur isolé au papier, relié à un conducteur isolé à la gutta. Voici le résumé du calcul :

$$\begin{array}{ll} \text{Câble sous papier} & \left\{ \begin{array}{l} R = 28,6 \\ C = 0,32 \end{array} \right. \\ \text{Câble sous gutta} & \left\{ \begin{array}{l} R = 52,2 \\ C = 0,96 \end{array} \right. \end{array}$$

Self-induction apparente.	Correction.	Self-induction vraie.
0,0190	0,0006	0,0196 avec terre
0,0175	0,0022	0,0197 sans terre

» Dans ce cas, pour faire les calculs sans terre, nous avons pris le point au potentiel zéro, non au milieu géométrique de la ligne, mais au milieu ohmique, c'est-à-dire au point situé à 40,4 ohms de chaque extrémité. Ce point est situé dans le câble sous gutta à 11,8 ohms de l'extrémité bouclée avec le câble sous papier. Et, comme les résultats sont bien concordants, nous en concluons qu'il faudra bien opérer ainsi par le calcul de la self-induction vraie.

» *Résultats expérimentaux.* — Nous avons trouvé les nombres suivants :

	Self-induction par km.
Lignes aériennes en cuivre	$2,05 \times 10^{-3}$ henrys en moyenne
— souterraines en gutta	$2,43 \times 10^{-3}$ — —
— — papier	$1,98 \times 10^{-3}$ — —

» *Comparaison avec les valeurs théoriques.* — On a donné quelquefois, pour la valeur de la self-induction, la formule

$$L = l \left(2 \log \frac{2l}{r} - 2 + \frac{\mu}{2} \right),$$

l et r étant respectivement la longueur et le rayon du conducteur unifilaire, et μ la perméabilité du milieu.

» Ceci conduit à la valeur $2,7 \times 10^{-3}$ par kilomètre pour un fil de cuivre de 2,5 mm. Le nombre expérimental est un peu plus faible; mais il convient de remarquer que la formule est loin d'être établie d'une façon rigoureuse. On sait, d'autre part, que la vitesse de propagation des ondes est donnée par la formule

$$v = \frac{1}{\sqrt{\gamma\lambda}},$$

γ et λ étant la capacité et la self-induction par unité de longueur et v la vitesse de la lumière, soit 300 000 km. On peut, dans cette formule, attribuer à γ soit sa valeur théorique 0,006, soit sa valeur expérimentale 0,009. Le premier nombre semble devoir être préféré, car le deuxième n'est qu'une correction du premier, dû à la présence de corps conducteurs divers qui déforment les ondes électriques et doivent modifier leur vitesse de propagation. Avec la valeur

$$\gamma = 0,006,$$

on a

$$\lambda = 1,9 \times 10^{-3},$$

ce qui est bien près du chiffre expérimental.

» *Lignes en fer.* — La self-induction d'une ligne est donnée par la formule

$$L = l \left(A + \frac{\mu}{2} \right),$$

étant la longueur, A un coefficient dont nous avons donné plus haut la formule théorique, et μ la perméabilité du métal. Cette perméabilité est égale à l'unité pour le cuivre.

» En admettant que les lignes aériennes aient pour self-induction la valeur que nous avons trouvée, soit $2,5 \times 10^{-3}$, on pourra facilement, des valeurs trouvées pour la self-induction des lignes en fer, déduire la valeur de la perméabilité.

» En procédant ainsi, nous avons constaté que la perméabilité du fer varie avec les différentes lignes sur lesquelles on opère, et aussi avec le courant d'expérience.

» Voici quelques chiffres moyens :

Intensité.	μ .
5 milliampères	112
10 —	140
20 —	81
20 —	75
30 —	91

» D'une manière générale, la perméabilité semble diminuer avec l'intensité du courant. Ceci peut s'expliquer par un phénomène de rémanence. En admettant le chiffre 80 pour les courants employés en télégraphie, on est amené à prendre la valeur 6×10^{-3} pour la self des lignes unifilaires en fer, et c'est à ce chiffre que nous nous arrêterons.

» *Conclusion.* — Les valeurs que nous accepterons provisoirement pour la self-induction de lignes unifilaires seront les suivantes, jusqu'à ce que de nouvelles séries de mesures nous permettent d'obtenir une plus grande précision :

Lignes en cuivre	2×10^{-3} henrys par km
— fer	6×10^{-3} —

IV. — INDUCTION MUTUELLE.

» Les lignes télégraphiques sont généralement nombreuses sur les appuis aériens, surtout au voisinage des grandes villes. Il arrive même fréquemment qu'elles doivent emprunter, sur de longs parcours, avant d'arriver aux grands bureaux centraux, des câbles souterrains. Elles ont donc à subir l'action de conducteurs voisins qui créent, par induction, des courants qui viennent se superposer aux courants des transmissions.

» L'induction mutuelle de deux conducteurs parallèles se compose de deux effets bien différents. Le premier est de nature électrostatique : le voltage s'élevant brusquement sur l'un des conducteurs, par suite de l'établissement du courant, l'autre se charge, par capacité mutuelle, d'une certaine quantité d'électricité. Mais il se développe en même temps une deuxième action qui est de nature électromagnétique, car le champ magnétique créé par le passage du courant, induit un courant dans les fils parallèles voisins.

» Il est fort intéressant de séparer ces deux actions. Pour y parvenir, il faut faire prédominer l'une d'elles. Pour étudier l'action électrostatique, on réduira, autant que possible, l'intensité du courant : on maintiendra, par exemple, isolée une extrémité du fil inducteur. Au contraire, pour l'action électromagnétique, on produira un courant aussi intense que possible, en le maintenant à un potentiel voisin de celui du fil induit.

» Voici les résultats que nous avons obtenus sur un câble de moyenne longueur, 9 km, du modèle de ceux qui sont généralement employés pour la télégraphie, isolement au papier, conducteur de cuivre de 2 mm de diamètre :

Induction électrostatique	0,035 microfarad par km
— électromagnétique . . .	0,25 millihenry —

» Il est facile de voir, d'après ces chiffres, que l'induction électrostatique joue un rôle beaucoup plus important que l'induction électromagnétique. Plaçons-nous dans les conditions ordinaires de la pratique. Considérons un conducteur souterrain de 10 km de longueur, ayant 50 ohms de résistance, parcouru par un courant de

50 milliampères, provenant d'une pile de 100 volts. Ces conditions se trouvent généralement réalisées au départ d'une ligne télégraphique s'éloignant d'une grande ville et devenant aérienne après un parcours souterrain urbain d'une dizaine de kilomètres.

» On peut aisément calculer les quantités d'électricité induite qui sont respectivement de

2,5 microcoulombs pour l'induction électromagnétique,	
35 — — — — —	électrostatique.

» L'effet électrostatique est donc 14 fois plus considérable que l'effet électromagnétique.

» Pour calculer le voltage moyen qui correspond aux courants induits, il faut faire une hypothèse sur leur durée. La capacité de la partie souterraine étant très grande, en comparaison de celle de tout le reste de la ligne, cette partie souterraine se chargera très rapidement et ce phénomène sera pour le début de la ligne celui qui jouera le rôle prépondérant. Il sera complet au bout de $\frac{5}{100000}$ de seconde. En admettant ce nombre pour la durée des courants induits, on trouve pour leur voltage respectivement 2,5 et 35 volts.

» Ces courants induits, étant de très courte durée, auront surtout un effet local. Au moment de la transmission d'un signal, ils se superposeront au courant de travail, mais ils s'affaibliront très vite par leur propagation sur la ligne, beaucoup plus vite que le courant de travail, qui, même pour les appareils rapides, aura une durée plus de 100 fois supérieure. Ils ne troubleront donc pas, d'une façon sensible, le courant qui arrivera à l'extrémité éloignée. Mais il n'en sera pas de même du côté du départ, au moment où l'on sera sur réception.

» Si l'appareil récepteur a une self-induction et une résistance très faibles, le courant d'induction pourra être considérable et atteindre des valeurs voisines de 1 ampère. Si la self-induction est plus importante, il sera moins élevé; mais, quoi qu'il en soit, il y a toujours formation, avec la capacité de la ligne souterraine et la self-induction du récepteur, d'une sorte de circuit oscillant. L'intensité y est donnée par la formule

$$I = E \sqrt{\frac{C}{L}} e^{-\frac{\delta}{2}},$$

où l'amortissement δ a pour valeur

$$\delta = \frac{\pi R}{2} \sqrt{\frac{C}{L}}.$$

» Soit pour la ligne que nous avons considérée et un récepteur Baudot ($L = 2$, $R = 200$), un courant de 16 milliampères.

» *Rôle du récepteur.* — Le récepteur aura donc comme effet de modifier profondément le courant induit. Il l'étalera, c'est-à-dire augmentera considérablement sa durée en diminuant son intensité. Il le rendra beaucoup moins gênant. Le chiffre de 16 milliampères est un maximum qui sera bien rarement atteint. En général, une valeur de 8 à 10 milliampères ne sera pas dépassée.

» Si nous employons des récepteurs à self-induction beaucoup plus forte, comme le Morse, le courant devra être notablement réduit, à cause de la self-induction et de la résistance de cet organe. C'est bien ce que l'expérience confirme. Quand on embroche un oscillographe sur une ligne soumise à l'induction de conducteurs voisins, on constate, quand elle est reliée directement à la terre, sans l'interposition d'aucun appareil, des courants d'induction très rapides et très intenses. L'intercalation d'un Baudot réduit ces courants à quelques milliampères, un Morse les fait disparaître à peu près complètement, ou plus exactement, les réduit à une valeur inférieure à 1 milliampère et ne leur permet plus d'être décelés par l'oscillographe.

» On comprend, dès lors, pourquoi le Baudot, comme tous les appareils dont la self-induction et la résistance sont faibles, doivent faire usage du courant de repos pour la transmission, c'est-à-dire ne jamais laisser la ligne à l'état neutre. C'est qu'en effet, il circule ainsi sur la ligne un courant soit de travail, soit de repos, qui est toujours supérieur aux courants d'induction et ne permet pas à ces derniers d'agir intempestivement sur le récepteur, de le faire *dérailer*.

» Le Morse, au contraire, grâce à sa self-induction, demeure insensible à ces courants, et n'exige pour fonctionner qu'un courant de travail.

» *Conclusion.* — Les courants induits ne sont pas les seuls qui peuvent venir troubler les transmissions. Les courants parasites,

dérivés par les prises de terre, jouent bien aussi un certain rôle, mais nous rappellerons que leur voltage est généralement peu élevé et que, par conséquent, leurs effets sont négligeables devant les courants d'induction. Ces derniers ont une action surtout locale et se font particulièrement sentir vers les extrémités des lignes, principalement quand celles-ci sont constituées par une section souterraine de quelque longueur, car ils sont surtout de nature électrostatique. Mais la présence d'un récepteur est fort utile, car il diminue beaucoup leur intensité et même, dans le cas d'appareils à forte self-induction et à grande résistance, comme le Hughes et le Morse, il les rend pratiquement insensibles et, par conséquent, inoffensifs.

» Nous en avons terminé avec l'étude des lignes télégraphiques.

» Dans une prochaine Conférence nous étudierons sommairement les appareils, puis nous exposerons les expériences qui nous ont permis de déterminer le rôle particulier que la ligne et les appareils jouaient dans la propagation du courant et dans la vitesse des transmissions. »

M. le PRÉSIDENT remercie M. Devaux-Charbonnel et le félicite des très ingénieuses méthodes qu'il a imaginées ou perfectionnées pour l'observation des phénomènes que présentent les transmissions télégraphiques.

M. le PRÉSIDENT fait connaître que les observations pour lesquelles MM. de Marchena, Mazen et de Traz étaient inscrits à l'ordre du jour constituant un ensemble qu'ils désireraient ne pas voir diviser, et l'heure étant avancée, il remet la présentation de ces observations à la prochaine séance et donne la parole à M. Guéry qui présente quelques remarques sur les machines homopolaires et leur application à la traction.

M. Marius Latour fait quelques observations sur ce que vient de dire M. Guéry (1).

M. le PRÉSIDENT remercie MM. Guéry et Marius Latour.

La séance est levée à 10^h 55^m du soir.

(1) Les Communications de MM. Latour et Guéry seront données dans le prochain *Bulletin*.

BIBLIOGRAPHIE.

Le carbone et son industrie, par M. J. ESCARD, 1 vol. gr. in-8 de 763 pages, avec 129 figures. Paris, Dunod et Pinat, éditeurs.

Un Volume aussi considérable, consacré à l'étude du *carbone*, pourrait surprendre à première vue, mais on se rend aisément compte que l'auteur a désiré montrer le rôle universel joué par ce corps, dans la nature, au point de vue minéral et surtout au point de vue organique.

Aussi mystérieux dans sa cristallisation (diamant) que dans les cellules vivantes, le carbone est véritablement le corps sans lequel rien ne serait.

Dans les neuf Chapitres de cet Ouvrage, le premier embrassant l'ensemble des connaissances humaines scientifiques et industrielles sur le carbone, l'Auteur étudie successivement : les propriétés générales des carbonés; le diamant avec sa reproduction artificielle au four Moissan; les gisements diamantifères; les applications industrielles du diamant; le graphite et les charbons électriques, dont l'emploi a seul permis l'industrie de l'électrolyse et de l'Électrométallurgie; les carbonés amorphes; la houille et ses variétés; les applications industrielles de la houille et la description de ses principaux gisements.

Une énumération aussi sommaire ne peut que donner une bien faible idée du travail de M. Escard; ce travail est considérable et ne peut manquer de faire époque dans notre littérature scientifique.

Toutes les industries ont des rapports avec le carbone, et aucun ingénieur ne doit manquer de lire et de consulter un Ouvrage traitant de la question avec autant de compétence que d'universalité.

Manuel pratique d'électricité médicale. Électrologie et instrumentation, par le Dr G. GEIGER, 1 vol. Paris, librairie générale scientifique et industrielle H. Desforges; 1907.

Cet Ouvrage s'adresse plus particulièrement aux spécialistes du corps médical qui ne sauraient rester indifférents aux avantages que la thérapeutique est à même d'obtenir de l'électricité sous ses différentes formes; ils y trouveront d'utiles indications sur la pratique des plus récents moyens d'application.

Après avoir rappelé les notions élémentaires indispensables à la compréhension des phénomènes électriques et avoir consacré aux accumulateurs une place importante et que justifie leur emploi en médecine, l'auteur passe en revue l'outillage nécessaire pour les diverses installations : cautère, endoscopie, courants continus et sinusoïdaux, rayons X, haute fréquence, etc.

Il envisage successivement le cas où le médecin dispose du courant sur un circuit

d'éclairage et celui où, réduit à ses propres ressources, il doit demander aux piles ou à des groupes électrogènes, le courant électrique dont il a besoin.

Manuel de l'apprenti et de l'amateur électricien. 5 vol. ou parties.
Paris, Bernard Tignol.

C'est à la collection *Bibliothèque des actualités industrielles* qu'appartient cette publication, elle comprendra cinq volumes ou parties séparées.

PREMIÈRE PARTIE : Principes d'électricité; Machines électriques, par M. Robert MARIE.

L'auteur s'est efforcé d'exposer ces principes de l'électricité et de ses applications d'une façon à la fois brève et précise, en écartant le plus possible les formules et discussions mathématiques afin de ne pas décourager, dès le début, la plupart des lecteurs auxquels ils sont destinés.

Le texte est accompagné de dessins schématiques qui ont l'avantage d'être souvent plus intelligibles que les figures perspectives où les photogravures embellissant d'autres ouvrages.

Celui-ci traite ensuite, dans ses divers chapitres, de l'électrochimie, du magnétisme, de l'électromagnétisme et de l'électrodynamique, etc.; des machines magnéto et dynamo-électriques, des moteurs à courant continu, des alternateurs et des alternomoteurs en courant monophasé et polyphasé, pour se terminer par une étude des courants alternatifs.

CINQUIÈME PARTIE : L'éclairage électrique dans l'appartement et la maison, par M. H. DE GRAFFIGNY.

A l'exception de la lumière électrique et particulièrement des lampes à incandescence, toutes les sources de lumière ont l'inconvénient, assez sérieux au point de vue de l'hygiène, de viciar l'air ambiant dont elles absorbent la partie essentielle pour lui substituer de la vapeur d'eau et des gaz plus ou moins nuisibles.

C'est par cette considération et par des comparaisons entre les différents modes d'éclairage que M. de Graffigny ouvre son intéressante monographie de l'éclairage par l'électricité. L'examen de la question est poursuivi dans les pages suivantes où il s'occupe de l'alimentation des foyers lumineux, tant au moyen des piles que des machines ou par l'intermédiaire des secteurs; des installations particulières ou isolées que motive l'éloignement des grands centres et, enfin, de l'utilité des lampes électriques portatives pour des éclairages momentanés.

Un grand nombre de figures et quatre plans de pose en couleur viennent à l'appui des descriptions.

L'année électrique, électrothérapique et radiographique,
par le Dr FOVEAU DE COURMELLES.

La septième année électrique de cette publication continue les traditions établies par les six précédentes, en rappelant avec beaucoup de soin toutes les nouveautés de l'année, au courant desquelles le grand public est ainsi tenu.

On y trouve relatés les progrès successifs et les dispositifs nouveaux ayant trait à l'électrochimie, à la lumière, au chauffage, à la traction, etc., les applications diverses ainsi que tous les faits, inventions, appareils et résultats se rattachant à l'électrothérapie, à la radiographie, à la radiothérapie, de même qu'aux actions du radium et aux influences de la radioactivité.

Incidentement, l'auteur s'élève contre la tentative de mise à l'index des nouveaux et puissants moyens curatifs qui procèdent de la radioactivité, lesquels n'ont déterminé certains accidents que parce qu'ils étaient témérement mis en œuvre par des mains imprudentes ou inexpérimentées.

L'Hygiène du travail dans les établissements industriels et commerciaux, par M. L. GRILLET. Petit in-8°, de l'*Encyclopédie scientifique des Aide-Mémoire*, Paris, Gauthier-Villars, Masson et C^{ie}.

Par cet Ouvrage, M. L. Grillet a entendu compléter l'analyse du Code du travail qu'il avait entreprise avec le *Législation des accidents du travail* et la *Réglementation du travail dans les établissements industriels*.

Cependant, l'auteur a pensé qu'après les excellents Ouvrages de Freycinet, Napias, Poincaré et Proust, il n'était pas utile d'écrire un traité complet d'hygiène publique et privée; qu'il répondrait mieux aux besoins qui ont nécessité sa publication en ne s'occupant que de l'hygiène industrielle, théorique et pratique, et en indiquant aux ingénieurs, aux chefs d'entreprise, les prescriptions d'hygiène déterminées par les règlements et les dispositifs divers permettant de les appliquer: tel est l'objet de l'*Hygiène du travail*.

Après un aperçu historique sur la Législation du travail et l'Examen des prescriptions d'hygiène visant l'emploi des femmes et des enfants, M. Grillet fait une étude de l'hygiène générale des ateliers qui forme dans l'Ouvrage un commentaire très complet des lois et décrets régissant la matière. Puis, dans deux Chapitres, il traite de l'assujettissement des établissements et de la procédure appliquée par l'Inspection du travail; passe en revue les causes de viciation de l'air, la propreté des locaux, la désinfection, l'évacuation des eaux résiduaires, etc.; la ventilation des ateliers, l'humidification des salles et l'hygiène individuelle des ouvriers. Un dernier Chapitre étudie les prescriptions spéciales, applicables à l'emploi des substances toxiques et des objets contaminés.

Cet Aide-Mémoire constitue donc un guide précieux pour les industriels soucieux d'appliquer, dans leurs ateliers et sans dépenses exagérées, les prescriptions réglementaires d'hygiène industrielle.

La Sécurité du travail dans les établissements industriels et commerciaux, par M. L. GRILLET. Petit in-8°, de l'*Encyclopédie scientifique des Aide-Mémoire*, Paris, Gauthier-Villars, Masson et C^{ie}.

Possédant la même raison d'être que le précédent, ce dernier Volume de la série consacrée par l'auteur à l'étude de la Législation du travail forme une suite naturelle à l'*Hygiène du travail*.

Il contient la description, accompagnée de nombreuses figures, des principaux appareils de protection et dispositifs de sécurité consacrés par l'expérience ou qui ont été suggérés à l'auteur par le souci de concilier la sécurité et la santé du travailleur avec les nécessités industrielles. En les signalant, M. Grillet a surtout tenu compte de leur efficacité, de leur prix de revient et de la commodité de leur emploi; il a voulu, en outre, donner le moyen à tout industriel de les faire appliquer sans études préparatoires.

Aux industriels ou aux commerçants absorbés par les soins de leur entreprise et qui n'ont pas toujours le temps ni les connaissances spéciales nécessaires pour se livrer à l'étude de ces questions, cet Ouvrage pourra rendre de réels services.

Rivetage, par M. FRICKER. Petit in-8°, de l'*Encyclopédie scientifique des Aide-Mémoire*, Paris, Gauthier-Villars, Masson et C^{ie}.

La théorie du calcul des assemblages rivés qui est de date récente est encore incomplète; cependant les règles que l'on en déduit ont la sanction de l'expérience et l'on doit en conclure que, si elles ne sont qu'approchées, elles le sont du moins par excès, en sorte que les assemblages sont plus résistants qu'il est nécessaire; et puisque, d'ailleurs, elles conduisent à des assemblages plus simples et plus légers que les règles empiriques généralement admises, elles ne sont pas inutiles à connaître : c'est ce qui a engagé l'auteur à les exposer dans la première Partie de son Ouvrage, en ajoutant de nombreuses applications aux cas les plus fréquents de la pratique courante.

Dans la deuxième Partie, il examine en détail comment on doit conduire les opérations qui ont pour objet la réalisation de l'assemblage rivé, de manière à assurer au rivetage une exécution irréprochable; puis il étudie l'usinage des matériaux, la fabrication des rivets et leur chauffage, le rivetage mécanique et à la main, le matage et le dérivetage que rend seul possible, dans certains cas, le chauffage des rivets par l'arc électrique.



LISTE DES OUVRAGES

OFFERTS A LA SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ÉLECTRICIENS.

(Suite.)

La Bibliothèque est ouverte aux Membres de la Société, tous les jours
de 2 heures à 5 heures, excepté les dimanches et jours de fêtes,
12, rue de Staël.

France.

Alternateurs (Les) à collecteurs monophasés et polyphasés et les dynamos à courant continu à deux paires de balais, par Charles JACQUIN. Paris, Gauthier-Villars, 1907; 1 vol. in-8°, broché. (*Don de l'éditeur.*)

Construction (La) des machines électriques, par Julien DALEMONT. Paris, Ch. Béranger, 1907; 1 vol. in-8°, relié toile. (*Don de l'éditeur.*)

Électricité (L') considérée comme forme de l'énergie. Les notions fondamentales, le potentiel et la quantité d'électricité, par le Lieutenant-Colonel E. ARIÈS. Paris, A. Hermann, 1906; une brochure in-8°. (*Don de l'éditeur.*)

Hygiène (L') du travail dans les établissements industriels et commerciaux, par Louis GRILLET. Paris, Gauthier-Villars, Masson et C^{ie}, [s. d.], 1907; 1 vol. pet. in-8° broché. (*Encyclopédie scientifique des Aide-Mémoire.*) (*Don de M. Gauthier-Villars.*)

Lampes (Les) à incandescence électriques, par J. RODET. Paris, Gauthier-Villars, 1907; 1 vol. in-8° broché. (*Don de l'éditeur.*)

Rivetage, par M. FRICKER. Paris, Gauthier-Villars, Masson et C^{ie}, [s. d.], 1907; 1 vol. pet. in-8° broché. (*Encyclopédie scientifique des Aide-Mémoire.*) (*Don de M. Gauthier-Villars.*)

Sécurité (La) du travail dans les établissements industriels et commerciaux, par Louis GRILLET. Paris, Gauthier-Villars, Masson et C^{ie}, [s. d.], 1907; 1 vol. pet. in-8°, broché. (*Encyclopédie scientifique des Aide-Mémoire.*) (*Don de M. Gauthier-Villars.*)

Étranger.

The record of the celebration of the two hundredth anniversary of the

birth of Benjamin Franklin, under the auspices of the American philosophical Society held at Philadelphia for promoting useful knowledge, april the seventeenth to april the twentieth, A. D. nineteen hundred and six. Printed for the American philosophical Society Philadelphia, 1906; 1 vol. gr. in-8°, relié toile. (*Don de l'American philosophical Society.*)



BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ INTERNATIONALE

DES

ÉLECTRICIENS.

SOMMAIRE.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ANNUELLE, p. 205. — Admission de Membres titulaires, p. 206. — Notice nécrologique : E. Hospitalier (M. Maurice Leblanc), p. 207. — Don au Laboratoire, p. 209. — Rapport de la Commission des Comptes (M. G. Pellissier), p. 209. — Rapport du Comité d'Administration (M. Armagnat), p. 212. — Compte rendu sur le Laboratoire et l'École supérieure (M. P. Janet), p. 214. — Situation financière et bilan de la Société au 31 décembre 1906, p. 222. — Discussion de la Communication de M. de Valbreuze sur la traction électrique (suite et fin) (MM. de Marchena, Maxen, de Traz, Gratzmuller, p. 227. — Résultat des élections, p. 263. — Allocution de M. Ch.-Ed. Guillaume, Vice-Président, p. 264. — Nouvelle lampe à arc de M. Blondel (suite et fin) (M. Dobkévitch), p. 267.

OUVRAGES OFFERTS, p. 287.

COMPTE RENDU

DE

L'ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ANNUELLE

ET DE LA

RÉUNION ORDINAIRE MENSUELLE

du mercredi 10 avril 1907 ⁽¹⁾.

PRÉSIDENCE DE M. CH.-ÉD. GUILLAUME, VICE-PRÉSIDENT.

La séance est ouverte à 8^h40^m du soir.

(¹) La Société n'est pas solidaire des opinions émises par ses membres dans les discussions, ni responsable des Notes ou Mémoires publiés dans le *Bulletin*.

Le procès-verbal de la dernière réunion mensuelle est adopté.

Il est donné connaissance d'un Don pour le Laboratoire, des Ouvrages offerts à la Bibliothèque et des demandes d'admission suivantes :

MM.

Abal (Henri), Ingénieur E. C. L., 74, boulevard du Montparnasse, à Paris. — Présenté par MM. Iliovici et Roy.

Beauvois-Devaux (André), Administrateur de l'*Ouest-Lumière*, Président de la *Compagnie urbaine d'Eau et d'Électricité*, Vice-Président de la *Compagnie française du Bi-Métal* et de la *Compagnie générale de Lumière et Traction*. Trésorier du Syndicat professionnel des *Usines d'Électricité*, 78, avenue Henri-Martin, à Paris. — Présenté par MM. Brylinski et Ferd. Meyer.

Bertrand (Émile-Louis), Ingénieur adjoint à la Direction de la *Compagnie des Chemins de fer de la Camargue*, 20, rue de Staël, à Paris. — Présenté par MM. de Marchena et Micaud.

Bloomfield (Charles-William), Ingénieur aux *Ateliers de Constructions électriques du Nord et de l'Est* (service câblerie), à Jeumont (Nord). — Présenté par MM. Herrero et Lagarde.

Claparède (Emmanuel), Ingénieur électricien, Directeur propriétaire de la *Concession d'Éclairage électrique de Bédarrides*, à Bédarrides (Vaucluse). — Présenté par MM. Leblanc et Armagnat.

Clin (Édouard-Émile), Ingénieur aux *Usines du Pied-Selle* (chauffage électrique). à Fumay (Ardennes). — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Detraux (Louis), Directeur de la *Compagnie méridionale d'Éclairage et de Force*, 77, rue du Paradis, à Marseille (Bouches-du-Rhône). — Présenté par MM. Leblanc et Armagnat.

Doat (Fernand), Enseigne de vaisseau, 47, rue Falguière, à Paris. — Présenté par MM. Iliovici et Roy.

Dubournay (Jean-Adolphe), Directeur des *Usines électriques de Terrasson, Saint-Céré et Mauriac*, à Terrasson (Dordogne). — Présenté par MM. Leblanc et Armagnat.

Fabry (Charles), Professeur à la Faculté des Sciences de Marseille, 1, rue Clapier, à Marseille (Bouches-du-Rhône). — Présenté par MM. Leblanc et Armagnat.

Gasnier (Paul-Jules-Marin), Chef des Travaux pratiques d'Électricité, chargé de conférences, à l'École de Physique et de Chimie industrielles de Paris, 20, rue Hallé, à Paris. — Présenté par MM. Boucherot et Hospitalier.

Gibert (Arthur), Ingénieur E. C. P., Installateur d'électricité, Constructeur électricien, 87, rue Saint-Thomas, à Saint-Quentin (Aisne). — Présenté par MM. Leblanc et Armagnat.

Hebert (Paul-Charles-Albert), Ingénieur constructeur, 58, boulevard Pasteur, à Paris. — Présenté par MM. Laporte et Gaucheraud.

Henrion (Edmond), Ingénieur au *Sud électrique*, à Avignon (Vaucluse). — Présenté par MM. Jacobsen et Vaquer.

Isambert (Alphonse-Prosper), Chef d'usine à la *Compagnie parisienne de l'Air comprimé*, 132, quai Jemmapes, à Paris. — Présenté par MM. Riegel et Eug. Sartiaux.

MM.

- Legouéz** (Raynald), Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, Directeur de la *Société parisienne pour l'industrie des Chemins de fer et Tramways électriques*, Administrateur des *Ateliers de Constructions électriques du Nord et l'Est*, 83, avenue Malakoff, à Paris. — Présenté par MM. Brylinski et Sauvage.
- Loudrier** (Antonin), Ingénieur au *Sud électrique*, à Avignon (Vaucluse). — Présenté par MM. Jacobsen et Vaquer.
- Maljournal et Bourron**, Constructeurs électriciens, 128, avenue Thiers, à Lyon (Rhône). — Présenté par MM. Leblanc et Armagnat.
- Michel** (Léon-Louis-Henri), Administrateur-Directeur de la *Compagnie générale électrique du Sud-Ouest*, à Blois (Loir-et-Cher). — Présenté par MM. Leblanc et Armagnat.
- Morwitz** (Joachim-Hanz), Ingénieur électricien, Chef du laboratoire de la *Compagnie générale de Radiogrammes et d'Applications électriques*, 150, boulevard Pereire, à Paris. — Présenté par MM. Chaumat et Chabert.
- Parodi** (Hippolyte), Ingénieur à la *Compagnie d'Orléans*, 141, quai d'Orsay, à Paris. — Présenté par MM. Blondel et Rateau.
- Pech** (Lucien-Denis), Ingénieur conseil, 25, rue du Drogmanat, à Constantinople (Turquie). — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Pernot** (Paul), Directeur de la *Station électrique du Rudlin*, à Fraize (Vosges). — Présenté par MM. Leblanc et Armagnat.
- Poirson** (Eugène-Jean-Félix), Ingénieur électricien au *Sud électrique*, à Avignon (Vaucluse). — Présenté par M. Jacobsen et Vaquer.
- Roger** (Charles), Administrateur délégué de la *Société électrique d'Éclairage et de Force des Bouches-du-Rhône*, 30, rue Montgrand, à Marseille (Bouches-du-Rhône). — Présenté par MM. Leblanc et Armagnat.
- Rosa Limpo** (Zosimo-Joaquim da), Pharmacien major, rue de S. Francisco de Salles, 26, 1^o D., à Lisbonne (Portugal). — Présenté par MM. Sabourain et Castanheira das Nêves.

Ces candidats sont élus membres titulaires de la Société internationale des Électriciens.

M. le PRÉSIDENT fait part des décès de MM. *E. Hospitalier*, *A. Legendre*, *J. Chaligny* et *V. Piaux* ; il en exprime ses vifs regrets au nom de la Société, et donne lecture de la Notice suivante transmise par M. Maurice Leblanc, président, empêché :

« Messieurs, j'ai le profond regret de vous faire part de la mort de notre ancien président Édouard Hospitalier.

» Sorti de l'École centrale, au moment où l'électricité commençait à être appliquée dans l'industrie, il en pressentit l'avenir et s'y consacra tout entier. Il fut rédacteur de la première Revue

d'électricité publiée en France, la *Lumière Électrique*, puis fonda, lui-même, une nouvelle Revue, l'*Électricien*, où il se montra le plus indépendant des journalistes. Il fonda encore, plus tard, l'*Industrie électrique* dont il sut faire un journal scientifique plein de vie et d'intérêt.

» Quels services n'a pas rendus son *Aide-Mémoire*? Ce petit livre, admirablement fait, où tous les renseignements nécessaires à l'*Électricien* se trouvent classés de la façon la plus claire, met en évidence les rares qualités d'ordre et de méthode que possédait Hospitalier.

» Il devint professeur à l'École de Physique et de Chimie : la brillante pléiade d'ingénieurs électriciens qui sont sortis de cette école, et parmi laquelle vous allez choisir votre futur président, est là pour témoigner de l'excellence de son enseignement, ainsi que son Ouvrage principal : *Principes et lois générales de l'Énergie électrique*.

» Aujourd'hui, il faut faire un véritable effort d'imagination pour se représenter ce qu'étaient la science et l'industrie électriques, en 1879, lors des débuts d'Hospitalier, et l'obscurité où nous nous débattions. Nul, plus que lui, ne contribua à la dissiper. Lorsque la réunion du Congrès de 1881 fut décidée, Hospitalier fit une longue campagne, dans la *Lumière électrique*, pour que ce Congrès s'occupât, avant tout, de la question des unités et en fit adopter un système universellement. Il en fut le véritable inspirateur, et son rôle a été trop oublié.

» Il imagina le procédé de distribution à tension constante, presque exclusivement appliqué depuis, et l'antériorité de ses brevets fut reconnue indiscutable.

» J'ai assisté à la séance de la Société de Physique, où il présenta le premier conjoncteur-disjoncteur, dont il se servait pour protéger une batterie d'accumulateurs. Cet appareil fut considéré alors comme une grande nouveauté.

» Enfin, il réalisa, en 1900, son ondographe, cette merveille d'ingéniosité, d'un maniement si facile et qui a rendu tant de services à notre industrie.

» Comme publiciste, professeur et inventeur, Hospitalier sut se

distinguer. Son jugement était remarquablement sûr, la loyauté et l'indépendance de son caractère universellement reconnues et son autorité était très grande.

» C'était aussi le meilleur et le plus affable des hommes. Il adorait les siens et le grand malheur qu'il eut, il y a quelques années, de perdre sa fille, dont il avait fait sa collaboratrice, est sans doute la véritable cause de sa fin prématurée.

» S'il laisse un grand vide parmi nous, que doit être sa perte pour sa famille, si injustement et si cruellement frappée?

» Nous ne pouvons, hélas! que lui donner l'assurance de toute notre sympathie et lui manifester l'universalité des regrets qu'a laissés son chef disparu, parmi tous ses anciens collègues et amis. »

Des remerciements sont adressés à M. H. Fontaine pour un nouveau Don de 400 fr qu'il vient de remettre à la Société en faveur du Laboratoire.

RAPPORT DE LA COMMISSION DES COMPTES POUR L'EXERCICE 1906.

M. G. PELLISSIER, *rapporteur*. — « Messieurs, j'ai l'honneur de vous rendre compte, au nom de la Commission que vous avez nommée dans votre Assemblée générale du 4 avril 1906, du mandat que vous avez bien voulu lui confier.

» La Commission a procédé à la vérification de la comptabilité sociale pour l'exercice 1906; elle a constaté que les comptes qui vous sont présentés et le bilan au 31 décembre sont conformes aux écritures de vos livres et que les différentes valeurs portées à l'actif existent effectivement au portefeuille.

» L'examen des comptes et du bilan donne lieu aux observations suivantes :

» I. *Services généraux*. — Les comptes de l'exercice se sont soldés par un excédent de recettes de 4756,90 fr, bien que la Société ait dû verser au Laboratoire une subvention de 5233,71 fr et qu'une dépense nouvelle de 700 fr ait été faite comme contribution au

budget de la Commission électrotechnique internationale. Ces bons résultats sont dus, pour une faible part (680 fr), à l'accroissement régulier du nombre des sociétaires, mais surtout à une diminution de 4050,49 fr sur les frais de publication du *Bulletin* et au versement d'une somme de 3085 fr fait dans les circonstances suivantes : à l'occasion de la récente Exposition universelle de Liège, notre collègue, M. Eug. Sartiaux, sollicita et obtint des exposants du Groupe de l'Électricité, dont il était président, l'abandon de sommes restant disponibles sur les versements faits pour les frais d'installation du Groupe et en mit une partie à la disposition de la Société pour concourir à des dépenses d'installation et d'acquisition déterminées.

» Aucun amortissement n'a été effectué pour cotisations irrécouvrables.

» Au *bilan* les cotisations restant à toucher figurent pour 3800 fr.

» Le fonds social, constitué par 130 cotisations libérées et par 4091 fr de dons divers, soit en tout 36591 fr, figure pour une somme totale de 38416,60 fr, valeur au 31 décembre 1906. Il s'est augmenté pendant l'exercice de 60 fr de rente 3 pour 100 et de 39 fr en espèces; mais, par suite du fléchissement des cours en Bourse, sa valeur totale est inférieure à celle de l'an passé; la différence est portée, suivant l'usage, à un compte d'ordre.

» Les fonds disponibles et en caisse s'élèvent à 14895,35 fr, en augmentation de 1067 fr.

» II. *Laboratoire*. — Pour solder ses dépenses, la Laboratoire a dû recourir à un prélèvement de 2979,99 fr sur les fonds disponibles et à une subvention de 5233,71 fr de la Société, soit, en tout, 8213,70 fr. Ses recettes, provenant des redevances pour essais et étalonnements, se sont élevées à 35064,15 fr, en augmentation de 4479,60 fr sur l'année précédente et les recettes provenant des redevances des élèves et des tiers à 1229,45 fr, en diminution de 1314,05 fr. Ces recettes industrielles, dont le total n'est que de 36293,60 fr, sont loin de couvrir les frais d'opération, de personnel, d'administration et d'entretien, qui se sont élevés à 45112,70 fr.

» L'installation de nouvelles salles de mesures a entraîné une dépense de 3087,10 fr, et l'acquisition d'instruments et de matériel une dépense de 4108,10 fr.

» Au *bilan* les instruments et le matériel sont portés pour une somme de 174968,14 fr. La valeur des constructions a, comme tous les ans, été amortie de 5000 fr, en même temps que l'avance du Ministère du Commerce, au passif, a été diminuée d'égale somme.

» Les sommes en caisse et restant dues au Laboratoire par les débiteurs divers forment la contre-partie exacte des dépenses, engagées et restant à payer, qui sont portées au passif.

» III. *École*. — Les comptes de l'exercice font ressortir une situation prospère. Non seulement l'École, sur ses recettes qui se sont élevées à 108011,08 fr, en augmentation de 5115,63 fr, a pu, sans aucun prélèvement sur fonds disponibles ni subvention de la Société, faire face à toutes ses dépenses, mais encore acquérir pour 8386,75 fr d'instruments et matériel, créer un fonds de réserve doté pour cette première année d'une somme de 5000 fr, et enfin solder cet exercice par un excédent de recettes de 9529,03 fr.

» Au bilan, les fonds disponibles ont été augmentés par l'achat de 500 fr de rente 3 pour 100; ses sommes dues à l'École par les débiteurs divers dépassent de 2310 fr le montant de ce qu'elle doit à divers créditeurs. Il ne reste plus qu'une somme de 3100 fr inscrite au passif pour le remboursement des obligations amorties qui n'ont pas encore été présentées par leurs propriétaires. Enfin, la création du fonds de réserve a donné lieu à l'ouverture d'un compte nouveau qui figure au passif pour 5000 fr.

» Le total du bilan des trois services s'élève, au 31 décembre 1906, à 782391,29 fr, en augmentation de 17865,34 fr.

» Dans ce total :

L'avoir net de la Société	est compris pour	127827,94 fr,	en augmentation de	7991,55 fr
— du Laboratoire	—	380920,37 —	—	1128,11 —
— de l'École	—	192848,31 —	—	17915,78 —
— total	—	701596,62 fr	—	27035,44 fr

» *En résumé*, la Société et l'École sont dans une situation prospère. Seul, le Laboratoire ne peut subvenir à ses dépenses sans recourir à des subventions importantes de la Société.

» La Commission vous propose d'approuver les comptes de l'exercice 1906 tels qu'ils vous sont présentés et elle vous demande de vous associer à elle pour adresser à M. le Trésorier, sans oublier le personnel qui lui prête un dévoué concours, nos plus sincères remerciements pour le zèle éclairé qu'il apporte dans l'accomplissement de sa mission. »

Appelée à se prononcer, l'Assemblée générale approuve à l'unanimité les comptes de l'exercice 1906 et les conclusions du Rapport.

RAPPORT DU COMITÉ D'ADMINISTRATION.

M. le SECRÉTAIRE GÉNÉRAL. — « Messieurs, l'appel que nous vous adressions, à la fin de l'année dernière, au sujet de l'accroissement du nombre de nos membres, a été entendu et, grâce à la Commission de propagande organisée par votre Bureau, grâce aux efforts personnels d'un certain nombre de nos collègues, nous avons à enregistrer une augmentation de 154 membres.

» Ce résultat encourageant nous montre que notre Société est susceptible de se développer encore beaucoup et vous voudrez certainement joindre vos efforts aux nôtres pour recruter des adhérents nombreux.

» Les travaux de nos Sections ont donné lieu à des Communications intéressantes. MM. Bainville et Janet nous ont parlé des lampes au tungstène, au nom de la deuxième Section.

» M. Grosselin a, au nom de la quatrième Section, résumé les mesures de sécurité pour les courants alternatifs et cette même Section a alimenté plusieurs de nos séances avec la Communication sur la traction électrique, dont la discussion n'est pas encore terminée.

» La cinquième Section nous a donné le travail de M. Brylinski sur la résistance des conducteurs en courant variable et celui de M. Devaux-Charbonnel sur les transmissions télégraphiques, et la

sixième un rapport de M. Brunswick sur les signes conventionnels.

» Grâce à son nouveau Président, M. Poincaré, la troisième Section s'est aussi réunie régulièrement cette année et nous aurons bientôt à entendre plusieurs Communications qu'elle a provoquées et que l'ordre du jour trop chargé a obligé à reculer.

» Vous avez entendu également des Communications diverses de MM. Boucherot, Boutin, Brylinski, Devaux, Guillaume, Grosselin, Jouaust, de Marchena et Tissot.

» Qu'il nous soit permis à ce sujet de faire remarquer combien il serait utile d'avoir, à chaque séance, un certain nombre de Communications courtes et précises, portant sur des sujets variés. Beaucoup de nos collègues, sollicités de faire des Communications sur une question particulière, s'y refusent, parce qu'ils se croient obligés de faire une véritable conférence. En réalité, la conférence qui résume l'état complet d'une question doit être exceptionnelle, la règle doit être plutôt la Communication courte, pourvu qu'elle soit claire.

» Grâce à l'intervention de M. Hospitalier, dont nous regrettons aujourd'hui la perte, nous avons pu organiser deux visites au Salon de l'Automobile, sous la direction de MM. Arnoux, Bochet, Gasnier et de Valbreuze. M. Bochet nous a fait à ce sujet une intéressante Communication sur les moteurs à gaz pauvre.

» Comme vous le savez, la Société a participé aux travaux de la Commission électrotechnique internationale et M. Janet nous a rendu compte de la réunion de Londres. Le Comité français de cette Commission est en voie d'organisation et votre Comité aura prochainement à nommer les délégués chargés de l'y représenter.

» L'Institution des Ingénieurs électriciens de Londres avait invité, l'année dernière, les membres de la Société internationale des Électriciens à visiter l'Angleterre. Vous savez par le récit de M. Brylinski ce qu'a été ce voyage et quel accueil cordial a été fait à nos collègues. Nous devons, une fois de plus, exprimer à nos confrères d'Angleterre nos sentiments de vive gratitude pour cette invitation.

» Votre Bureau s'est préoccupé de rendre la Société de plus

en plus utile à ses membres et, cette année, deux petites améliorations matérielles ont été apportées dans nos services : une entente avec les principaux libraires et éditeurs permet à nos collègues d'obtenir des remises assez importantes sur les livres et périodiques et, d'autre part, une feuille, encartée dans le *Bulletin*, est consacrée aux offres et demandes d'emploi émanant de nos membres.

» Le voyage à Londres et les visites au Salon de l'Automobile ont montré qu'il serait utile d'avoir un insigne permettant aux membres de la Société de se faire reconnaître dans des cas analogues. Pour répondre au désir exprimé par plusieurs de nos collègues, votre Bureau a fait établir un insigne, qui pourra être prochainement cédé aux membres qui le désireront.

» Avant de laisser la parole à M. Janet pour vous exposer les travaux du Laboratoire et de l'École, permettez-moi de vous rappeler les noms de ceux qui ont disparu au cours de l'année.

» Nous avons perdu MM. Bischoffsheim, Curie, Lesourd, Huet, Jeantaud, Christophe, Hospitalier, Legendre et Chaligny, membres fondateurs, Chestwright et Piaux, membres. »

COMPTE RENDU SUR LE LABORATOIRE CENTRAL ET L'ÉCOLE SUPÉRIEURE D'ÉLECTRICITÉ.

« Messieurs, j'ai l'honneur de présenter à l'Assemblée générale de notre Société mon rapport annuel sur le fonctionnement des services du Laboratoire central et de l'École supérieure d'Électricité pendant l'année 1906.

I. — Laboratoire central d'Électricité.

» 1^o *Matériel*. — Le crédit affecté à l'acquisition du matériel, qui avait été presque nul en 1905, a pu heureusement être rétabli au budget de 1906 ; bien qu'il soit encore très loin de correspondre aux besoins du Laboratoire, nous avons pu le consacrer à enrichir notre collection d'appareils de mesures, et à étendre ainsi la limite des essais que nous pouvons entreprendre ; je signalerai une série d'ampèremètres et de voltmètres Carpentier, Richard, Hartmann et

Braun, un ampèremètre thermique enregistreur Hartmann et Braun, trois wattmètres Siemens (ce qui porte à sept le nombre de ces instruments possédés par le Laboratoire), et enfin une batterie de vingt condensateurs Moscicki spécialement disposée pour la mesure de très hautes tensions (jusqu'à 100 000 volts); cette batterie nous a été cédée à un prix très avantageux par la Société générale des condensateurs électriques, à qui nous tenons à adresser ici nos remerciements.

» 2° *Installations nouvelles.* — L'installation la plus intéressante que nous ayons réalisée cette année est relative à l'essai, sous la pluie artificielle, des isolateurs à haute tension. Les isolateurs à essayer, au nombre de huit ou dix environ, sont montés en parallèle sur un madrier suspendu, à une certaine distance au-dessus d'un toit praticable, par des cordes soigneusement isolées au moyen de forts isolateurs en porcelaine. La tension est amenée aux isolateurs de l'intérieur du Laboratoire, au moyen d'une ligne nue portée sur de forts isolateurs. A 2 m environ au-dessus de la rangée des appareils en essai se trouve une série de quatre pommes d'arrosoir qui ont été choisies de manière à donner des jets suffisamment divergents. L'arrivée de l'eau peut être réglée de manière à équivaloir à une forte pluie d'orage (normalement 1 cm par minute). Notre installation courante permet de monter à 60 000 volts, et nous pouvons éventuellement monter à 120 000.

» Nous signalerons également l'installation, due à l'actif dévouement de M. Eug. Sartiaux, de trois nouvelles salles de mesures dans les bâtiments annexes; ces salles, d'une superficie totale de 72 m², ont été spécialement consacrées aux recherches de précision, actuellement en cours, sur les unités électriques et, en particulier, sur les mesures absolues de l'intensité d'un courant au moyen d'un électrodynamomètre-balance.

» 3° *Essais.* — Les essais exécutés au Laboratoire en 1906 ont été au nombre de 959, contre 998 en 1905; les recettes se sont élevées à 35 064,15 fr, contre 30 584,55 fr en 1905. Les essais se répartissent ainsi :

Compteurs	370
Lampes à incandescence.....	219 (1)
Ampèremètres	84
Voltmètres.....	55
Résistances	45
Tôles et fer.....	30
Lampes à arc.....	27
Piles.....	18
Isolants.....	18
Machines	15
Accumulateurs	13
Vérifications d'installations (isolement, compteur, lampes).....	12
Haute tension.....	10
Wattmètres.....	4
Paratonnerres.....	4
Divers	35
	959

» Dans ces essais ne figure pas le service de vérification des installations électriques de la Chambre des députés (compteurs, lampes, isolements), que le Laboratoire exécute depuis 1898 par abonnement à forfait.

» Nous signalerons, comme particulièrement intéressants, les essais suivants :

» Pour la première fois, et à peine terminée, l'installation spéciale que, sur la demande du Ministre de la Marine, nous avons établie (*voir le Rapport 1905*) pour l'essai des accumulateurs destinés aux sous-marins a été mise en service. 2 éléments, pesant chacun 256 kg environ, d'une capacité (en énergie) de 2700 wattheures, ont subi plus de 200 décharges au régime moyen de 5,5 watts par kilogramme; des essais systématiques de capacité à des régimes variés ont été intercalés dans ces essais d'endurance, suivant le programme, commun à tous les concurrents futurs, établi par le Ministère de la Marine; cette importante série d'essais n'a pas duré moins de 6 mois sans aucune interruption; une autre série, portant sur 4 éléments, va commencer incessamment.

» Nous signalerons encore :

(1) Portant sur 765 lampes.

» Études comparatives de plusieurs variétés de charbons pour arcs;

» Résistivité et coefficient de température de nombreuses variétés de cuivre;

» Résistivité, coefficient de température et pouvoir diélectrique de substances isolantes;

» Étude de nombreuses lampes à incandescence à filament métallique (zirconium, tungstène, tantale);

» Études d'aciers pour aimants permanents;

» Étude de lampes devant servir d'étalons à divers industriels;

» Nombreux essais d'alliages spéciaux pour fusibles;

» Revision complète de tout le réseau de paratonnerres du Louvre.

» Comme les années précédentes, nous avons effectué un certain nombre d'essais en province. Dans plusieurs usines hydro-électriques, nous avons fait l'essai complet de grands alternateurs à haute tension et des transformateurs correspondants (rendements, caractéristiques diverses, oscillogrammes). Nous avons été appelés dans une ville pour faire des enregistrements de tension pendant 24 heures en différents points du réseau; enfin, dans les environs de Paris, nous avons été appelés à suivre le fonctionnement, pendant 24 heures, d'une petite station centrale, et nous avons exécuté plusieurs essais de moteurs et de lignes.

» *Recherches.* — Les principales recherches exécutées au Laboratoire en 1906 ont rapport à la Photométrie, et plus particulièrement à la comparaison des étalons lumineux à flamme (Carcel, Hefner, Vernon-Harcourt). Un important Mémoire sur ce sujet a été publié dans notre *Bulletin* par MM. Laporte, sous-directeur, et Jouaust, chef de travaux au Laboratoire. L'origine de ces recherches est intéressante à signaler : au moment de l'Exposition de 1900, le Congrès international de l'industrie du gaz, réuni à Paris, décidait la création d'une commission internationale de Photométrie; cette commission, qui se réunit pour la première fois à Zurich en 1903, mit à l'ordre du jour de ses travaux la comparaison des étalons lumineux usuels. Le Laboratoire central, d'où étaient sorties en 1898 les premières études de M. Laporte sur

ce sujet, était tout désigné pour apporter une contribution importante aux travaux de la commission. Il fut donc décidé que des mesures seraient effectuées simultanément et indépendamment au Laboratoire central et au Laboratoire d'essais du Conservatoire des Arts et Métiers. Vous avez pu lire dans le *Bulletin* les résultats de ces travaux et de l'entente qui en est résultée; nous poursuivons encore de plus près l'étude de la question, et le Laboratoire central sera représenté avec autorité par M. F. Laporte, à la réunion de la commission internationale, qui aura lieu à Zurich le 13 juillet prochain.

» A côté de ces travaux, M. Périquier, ancien élève de l'École supérieure d'Électricité, titulaire de la bourse Hughes, a consacré une grande partie de l'année aux études préparatoires de l'électrodynamomètre absolu dont nous avons parlé plus haut, dont les principales dimensions ont été fixées par M. Mascart. La construction de ce bel appareil a été confiée à notre ancien Président, M. Carpentier. M. Périquier a en outre effectué de nombreuses comparaisons, encore inédites, sur des éléments Weston d'origines très variées.

II. — École supérieure d'Électricité.

» 1° *Matériel*. — Le matériel de l'École s'est surtout accru en instruments de mesures, tachymètres, rhéostats, etc., que le nombre toujours croissant de nos élèves nous oblige à avoir en abondance; comme machines, nous signalerons un groupe de deux petites dynamos à courant continu de 1200 watts chacune et un groupe de moteurs de traction avec engrenages, carter, etc.

» 2° *Installations nouvelles*. — Votre Comité a décidé, dans l'une de ses dernières séances, que la collection rétrospective d'appareils et de machines électriques, rassemblée depuis 1900 avec tant de zèle par M. Eug. Sartiaux et abandonnée à la Société, serait directement rattachée à l'École; c'est donc ici le lieu de signaler que cette collection sera installée au premier étage de l'un des bâtiments annexes (anciennes ambulances urbaines). L'aménagement de ces locaux, actuellement terminé, a été fait par les soins de M. Sartiaux, à qui nous adressons nos plus vifs remerciements.

» 3° *Enseignement*. — Une réforme importante et attendue depuis longtemps, que le manque de matériel et de personnel seul nous avait obligé d'ajourner, a été introduite dans notre enseignement en 1906 : désormais nos élèves effectuent chaque semaine deux séances d'essais de machines au lieu d'une; leur temps est donc ainsi employé :

Cours et conférences	6	matinées
Exercices de laboratoire.....	2	après-midi
Essais de machines	2	—
Exercices d'atelier.....	1	—
Libre	1	—

» En ce qui concerne l'enseignement oral, nous signalerons le grand développement des conférences sur les applications mécaniques de l'électricité et la traction électrique, qui atteignent aujourd'hui le nombre de 40 environ. Le reste de notre enseignement (1) n'a subi en 1906 que les modifications apportées par nos distingués conférenciers, qui tiennent à honneur de le maintenir constamment au niveau des derniers progrès de l'industrie électrique. Parmi les conférences complémentaires, nous tenons à mentionner particulièrement trois intéressantes leçons, sur la nomenclature et le calcul graphique, que M. Maurice d'Ocagne a bien voulu professer gracieusement devant nos élèves; nous lui adressons ici, au nom du Conseil de l'École, l'expression de notre gratitude.

» 4° *Voyage d'étude*. — Notre voyage annuel d'étude a eu lieu en 1906 en Suisse et dans le Dauphiné. 40 de nos élèves environ y ont participé et en ont publié le compte rendu dans le *Bulletin de l'Association des anciens Élèves*. L'appel que je faisais ici même, en 1905, pour la création de bourses permettant à quelques-uns de nos élèves les plus méritants d'y prendre part a été entendu. M. Bochet a bien voulu en 1906 (et, nous pouvons le dire dès maintenant, en 1907 également) mettre à notre disposition l'une de ces bourses; nous lui en sommes profondément reconnaissants;

(1) Nous tenons à signaler dès maintenant la création nouvelle, en 1907, de six conférences, professées par M. Picou, sur les stations centrales.

de plus, par un acte de bonne camaraderie, la tradition s'est établie que les participants au voyage majeurent chacun légèrement leur part individuelle pour faire ajouter un de leurs camarades à la liste. Nous souhaitons vivement que ces généreux exemples soient suivis.

» 5° *Promotion 1905-1906.* — Il a été délivré, à la fin de juillet dernier, 70 diplômes, se répartissant ainsi :

Licenciés ès sciences	13
Anciens Élèves médaillés des Écoles d'Arts et Métiers	12
Anciens Élèves de l'École centrale des Arts et Manufactures	6
Élèves étrangers, diplômés d'Écoles techniques supérieures	6
Officiers et Ingénieurs délégués par les Ministères	3
Anciens Élèves de l'École Polytechnique	3
Officiers de Marine et École du Génie maritime	2
Ancien Élève de l'École des Mines de Saint-Étienne	1
Élèves reçus au Concours et divers	24
	70

» 6° *Promotion 1906-1907.* — La promotion actuellement en cours d'études comprend 93 élèves et a la composition suivante :

Licenciés ès sciences	18
Anciens Élèves médaillés des Écoles d'Arts et Métiers	14
Anciens Élèves de l'École Polytechnique	9
Officiers et Ingénieurs délégués par les Ministères	7
Élèves étrangers, diplômés d'Écoles techniques supérieures	6
Officiers de Marine	4
Anciens Élèves de l'École centrale des Arts et Manufactures	3
Ancien Élève diplômé de l'École des Mines	1
Ancien Élève diplômé de l'École des Ponts et Chaussées	1
Élèves reçus au Concours	30
	93

» 7° *Anciens élèves.* — Le nombre total des élèves qui ont passé par l'École supérieure d'Électricité depuis sa fondation (novembre 1894) jusqu'à ce jour est de 732, sur lesquels 593 ont obtenu le diplôme de fin d'études. Nous continuons autant que possible à suivre nos anciens élèves dans les situations qu'ils occupent, situations qui se décomposent ainsi :

Ateliers de construction.....	173
Armée et Marine.....	76
Stations centrales.....	49
Travaux publics.....	45
Chemins de fer.....	42
Enseignement et Laboratoires.....	40
Électrochimie.....	26
Tramways électriques.....	20
Ingénieurs conseils.....	12
Situations diverses.....	34
Situations inconnues.....	66
Décédés.....	10
	593

» Il est intéressant de constater qu'un grand nombre de nos anciens élèves restent étroitement attachés à notre Société après leur sortie de l'École : sur 1300 membres environ qui figurent à l'Annuaire de 1906, 23 pour 100 sont des anciens élèves de l'École.

» Le placement se fait avec facilité, et, à l'heure actuelle, nous avons peine à satisfaire aux demandes qui nous sont adressées par les industriels.

» 8^e *Société amicale d'ingénieurs sortant de l'École supérieure d'Électricité.* — Cette intéressante Association, qui mérite toute la sympathie de notre Société, compte aujourd'hui plus de 300 membres; elle s'occupe activement et avec succès du placement des anciens élèves, et centralise toutes les offres et demandes relatives à cet objet. Dans les limites de ses ressources, encore modestes, elle s'efforce de venir en aide à des élèves intéressants et peu fortunés; là encore je serais profondément heureux si, à mon appel, des dons exceptionnels venaient lui permettre d'accroître cette partie si utile de son budget.

» Tels sont, Messieurs, les quelques renseignements que j'avais à vous donner sur le fonctionnement, pendant l'année 1906, des deux belles fondations de notre Société; ils vous permettront de fixer un point nouveau de notre histoire, et ce point se trouve sur une courbe nettement ascendante. »

A l'unanimité, l'Assemblée approuve ces documents.

SITUATION FINANCIÈRE.

COMPTES DE L'EXERCICE 1906.

CRÉDIT.

Cotisations libérées et don.....	fr
Cotisations de l'exercice.....	1961,00
Intérêts.....	24620,00
Produits du Bulletin.....	1653,86
Profits et pertes.....	7433,70
Don avec affectation spéciale.....	47,15
Dons d'Ouvrages divers.....	3085,00
Intérêts du legs Hughes.....	350,00
	1500,00
	fr
	40650,71

DÉBIT.

I. — Services généraux.

Bulletin.....	fr
Frais d'administration.....	12330,70
Personnel.....	2075,40
Frais de correspondance.....	8537,50
Frais de réunions.....	1129,30
Commission électrotechnique internationale.....	802,55
Subvention au Laboratoire.....	700,00
Bibliothèque.....	5233,71
PlACEMENT au fonds social.....	1348,65
Bourse Hughes.....	1961,00
Amortissement :	1425,00
Bibliothèque.....	350,00
	fr
Solde créditeur.....	4756,90
	40650,71

II. — Laboratoire.

Arrérages de la rente.....	fr
Redevances pour essais et étalonnements.....	7903,00
Redevances des élèves et tiers.....	35064,15
Ministère de la Marine.....	1229,45
Prélèvement sur fonds disponibles.....	3000
Subvention de la Société.....	2979,99
Amortissement :	5233,71
Ministère du Commerce.....	5000,00
	fr
	60410,30

Frais d'opérations et essais taxés :

Machine à vapeur, moteurs à gaz et électrique.....	fr
Produits.....	4084,80
Atelier.....	1146,30
Déplacement du personnel.....	470,65
Personnel.....	3153,80
Frais d'administration :	fr
Frais de bureau, correspondance et divers.....	8855,55
Coke.....	28275,65
	fr
	1758,55
	471,40

Téléphone.....	369,40	5018,90
Loyer, impôts, assurances....		711,35
Entretien des bâtiments.....		1175,95
Entretien des machines et appareils.....		1045,30
Expériences et recherches....		120,40
Installation de nouvelles salles de mesures.....		3087,10
Ministère de la Marine.....		2982,00
Acquisition d'instruments et matériel.....		4108,10
Amortissement :		
Constructions.....		5000,00
		^{fr} 60410,30

III. — *Ecole.*

Redevances des élèves.....	^{fr} 91275,00
Souscriptions.....	13250,00
Intérêts.....	283,00
Subvention de la Ville de Paris....	2000,00
Profits et pertes.....	20,00
Dons.....	83,08
Don en nature.....	1100,00
	^{fr} 108011,08

Personnel.....	^{fr} 44285,40
Travaux des élèves :	
Machine à vapeur, moteurs à gaz et électrique.....	^{fr} 2602,10
Produits.....	1222,85
Atelier.....	3397,05
Frais de conférences, vi- sites d'usines, etc.....	20244,50
Fournitures diverses.....	585,15
Frais d'administration :	
Frais de bureau, correspon- dance et divers.....	2117,30
Chauffage, éclairage.....	3269,25
Entretien des bâtiments.....	5386,55
Entretien des machines et ap- pareils.....	2010,90
Impôts, assurances.....	2588,35
Acquisition d'instruments et matériel.....	1672,45
Fonds de réserve.....	8386,75
Amortissement :	5000,00
Instruments et matériel....	1100,00
Solde créditeur.....	^{fr} 9529,03
	108011,08
	<u>209072,09</u>

209072,06

BILAN AU 31 DÉCEMBRE 1906.

ACTIF.

Fonds social (valeur au 31 décembre 1906) :	
45 obl. P.-L.-M. 3 %.....	fr 19687,50
11 obl. Est 3 %.....	4840,00
4 obl. Ouest-Algérien 3 %..	1706,00
373 ^{re} de rente 3 %.....	11836,55
Espèces.....	346,55
	fr 38416,60
Fonds disponibles (valeur au 31 décembre 1906) :	
186 ^{re} de rente 3 %.....	5902,40
Caisse et banquier.....	8992,95
Legs Hughes (valeur au 31 décembre 1906) :	
1500 ^{re} de rente 3 %.....	47600,00
Cotisations à toucher.....	3800,00
Débiteurs divers.....	851,11
Bibliothèque.....	15989,00
Mobilier.....	1900,00
Compte d'ordre.....	5383,88
	fr 128835,94

PASSIF.

I. — Société.

Cotisations anticipées.....	fr 173,00
Bourse Hughes.....	835,00
	fr 1008,00

II. — Laboratoire.

Bibliothèque.....	fr 2975,40
Constructions.....	237976,83
Instruments et matériel.....	174968,14
Caisse.....	1017,70
Débiteurs divers.....	2700,45
	fr 419638,52
Ministère du Commerce....	fr 35000,00
Créditeurs divers.....	3718,15
	fr 38718,15

III. — École.

Instruments et matériel.....	fr 129654,05	Amortissement de l'em- prunt.....	fr 3100,00
Constructions.....	63436,20	Coupons.....	238,52
Fonds disponibles (valeur au 31 décembre 1906) :		Créditeurs divers.....	4180,00
783 ^{fr} de rente 3 %.....	24847,20	Redevances des élèves pour 1907.....	28550,00
Caisse et banquier.....	7845,93	Fonds de réserve.....	fr 5000,00
Débiteurs divers.....	6490,00		41068,52
Cautionnement.....	143,35		80794,67
Compte d'ordre.....	1500,10	Avoir net au 31 décembre 1906 :	
	233916,83	Société.....	fr 127827,94
	782391,29	Laboratoire.....	380920,37
		École.....	fr 701596,62
			782391,29

M. le PRÉSIDENT invite les Sociétaires qui n'auraient pas envoyé leur bulletin de vote à venir le déposer dans les urnes et, à cet effet, déclare la séance suspendue pendant 10 minutes.

A la reprise et durant le dépouillement du vote, pour lequel des bureaux de scrutateurs sont constitués, il est donné suite à l'ordre du jour qui appelle les Communications techniques.

**DISCUSSION DE LA COMMUNICATION DE M. DE VALBREUZE
SUR LA TRACTION ÉLECTRIQUE (suite et fin).**

M. DE MARCHENA. — « Il n'y a guère à ajouter à l'exposé si complet et si nourri que M. de Valbreuze nous a fait de cette question si vaste du développement de la traction électrique et qui soulève tant de problèmes d'ordres différents.

» Aussi je désire seulement attirer plus particulièrement votre attention sur l'un de ces problèmes, celui de la constitution de l'essieu moteur électrique, et dire quelques mots des relations qu'a ce problème particulier avec le système de traction électrique adopté.

» *Commande par engrenages.* — Le système de commande des essieux moteurs, de beaucoup le plus répandu, est la commande par engrenages, d'après le dispositif bien connu : le moteur est, d'une part, suspendu élastiquement au châssis et repose, d'autre part, sur l'essieu, qu'il embrasse par des paliers munis de coussinets. Le pignon est calé sur l'arbre de l'induit et attaque la roue d'engrenage calée sur l'essieu, l'ensemble de cette transmission étant protégé par un carter métallique.

» Je n'ai pas besoin de rappeler les avantages de ce système, qui est devenu classique pour toutes les applications de petite et moyenne traction (trainways urbains, tramways interurbains et lignes métropolitaines), et qui est même parvenu à vaincre la méfiance et la prévention qu'avaient d'abord conçues contre lui les ingénieurs de chemins de fer.

» Tout d'abord il ne rend pas dépendantes les vitesses respectives de l'essieu et du moteur, et permet, tout en adoptant pour un type de moteur déterminé la vitesse de rotation la plus avantageuse, de faire varier la vitesse de l'essieu dans des limites étendues suivant les applications envisagées.

» Il se prête donc éminemment à l'établissement de séries de moteurs pouvant indifféremment s'adapter aux applications les plus variées, c'est-à-dire au seul système de fabrication qui permette de

réaliser à la fois les plus bas prix de revient et les appareils les mieux étudiés et les plus réussis.

» En second lieu, ce système de commande donne toutes facilités pour les montages et démontages, aussi bien que pour les visites et l'entretien courant, sans qu'il soit besoin de toucher en quoi que ce soit à la constitution du véhicule proprement dit.

» Enfin, il donne toute satisfaction au point de vue de la douceur du roulement : l'essieu ne portant directement qu'une proportion modérée du poids du moteur, le poids non suspendu reste dans des limites admissibles, et les effets d'inertie ne sont pas à redouter pour la voie.

» Ces avantages bien connus de vous tous, et divers autres d'ordre plus secondaire, dans le détail desquels il serait trop long d'entrer, ont toujours assuré la préférence au système de commande par engrenages toutes les fois qu'il a été possible de l'employer.

» Je terminerai l'examen de ce système de commande en faisant remarquer que, jusqu'à présent, les essieux moteurs commandés par engrenages ont toujours été laissés indépendants. Cette manière de faire est toute rationnelle avec les moteurs présentant les caractéristiques du moteur série à courant continu, car avec ces moteurs les petites variations, pratiquement possibles, du diamètre des roues motrices ou de la réluctance du circuit magnétique des moteurs, n'influent pas d'une manière sensible sur la répartition de la charge entre les divers secteurs d'un véhicule ou même d'un train entier.

» La situation n'est pas la même avec des moteurs ayant des caractéristiques similaires de celles du moteur shunt à courant continu, et en particulier, comme l'a fait incidemment remarquer M. de Valbreuze, avec les moteurs d'induction.

» Dans ce cas, de petites différences dans le diamètre des roues motrices ont une influence très marquée sur la répartition de la charge, à moins d'accoupler mécaniquement les divers moteurs ou les essieux qu'ils actionnent.

» Quand les moteurs à caractéristique série sont tous connectés en série d'une manière permanente, cet accouplement devient aussi utile pour assurer une égale répartition de la différence de potentiel aux bornes. Ce cas est celui de certaines applications les plus récentes du système à courant continu haute tension, et je

rappellerai que, dans la locomotive d'essai du Métropolitain de Vienne, cet accouplement mécanique a été réalisé en faisant commander, au moyen d'engrenages, le même essieu par les deux moteurs connectés en série en permanence.

» *Systèmes de commande pour moteurs tournant à la même vitesse que les essieux.* — Malgré ses avantages, la commande par engrenages ne peut toutefois être toujours employée.

» Au fur et à mesure que la puissance augmente, les dimensions des engrenages deviennent de plus en plus grandes, et ceux-ci prennent un encombrement de plus en plus important, au détriment de l'emplacement qui reste disponible pour le moteur lui-même. Aussi arrive-t-on rapidement à une limite maxima pour la puissance qu'il est pratiquement possible de réaliser, avec la voie normale, pour un moteur de ce type.

» D'autre part, cette augmentation de puissance est généralement accompagnée d'une augmentation correspondante de la vitesse des trains; comme le diamètre des roues motrices reste forcément limité, il arrive un moment où la vitesse de l'essieu moteur correspond, à très peu près, à celle que l'on serait conduit à choisir pour les parties mobiles du moteur, et, dès lors, il n'y a plus de raisons d'interposer d'organes réducteurs de la vitesse entre les moteurs et les essieux.

» Par exemple, si nous considérons le cas d'une locomotive électrique destinée à marcher à une vitesse moyenne de 100 km à l'heure, nous constaterons que les essieux moteurs, avec des roues de 1,10 m, tourneront à près de 500 tours par minute, et, avec des roues de 1,35 m, à près de 400 tours par minute.

» Or, ces vitesses de 4 à 500 tours par minute conviendront d'une manière parfaite à des moteurs de 300 à 500 chevaux.

» En pratique, la suppression d'organes réducteurs de la vitesse deviendra logique toutes les fois qu'il s'agira de moteurs de plus de 250 chevaux et de vitesses de pleine marche supérieures à 80 km à l'heure.

» Ces cas ne se rencontrent d'ailleurs que dans la grosse traction de chemins de fer, lorsqu'il s'agit de faire la remorque de trains lourds et à grande vitesse.

» Dans l'examen des combinaisons diverses qui ont été essayées ou proposées en réalisant cette suppression, il faut tenir compte des deux considérations principales suivantes :

» 1° Le poids non suspendu, reposant sur l'essieu moteur, doit rester limité au-dessous de la valeur à partir de laquelle les effets d'inertie auraient une influence fâcheuse sur la bonne conservation des voies ;

» 2° Les dispositions adoptées doivent autant que possible se concilier avec les facilités de l'entretien courant des moteurs et des réparations ou remplacements à effectuer.

» La première de ces considérations a fait définitivement rejeter les combinaisons d'accouplement direct dans lesquelles le poids entier du moteur est porté par l'essieu. Je rappellerai que cette disposition a été essayée sur les locomotives du *Central London* et qu'elle a été un insuccès complet pour des motifs d'ordre purement mécanique.

» Parmi les autres combinaisons étudiées en vue de donner satisfaction à la même considération, je citerai :

» *a.* L'accouplement direct sur arbre creux concentrique à l'essieu et accouplé élastiquement à celui-ci ; il a été employé avec des dispositions de détail plus ou moins heureuses sur les locomotives Heilmann, sur les grosses locomotives électriques du *Baltimore and Ohio*, sur les tracteurs électriques de la ligne de Versailles, sur les locomotives d'essai de la ligne de Zossen, et il va l'être sur les locomotives monophasées de la Compagnie New-York, New-Haven et Hartford.

» Cette combinaison, convenablement étudiée dans ses détails et dans la disposition de l'accouplement élastique, satisfait parfaitement à la première considération et donne des véhicules très roulants et fatiguant très peu les voies.

» Mais l'arbre creux, par suite des jeux indispensables à ménager pour permettre les oscillations du châssis par rapport aux essieux, doit nécessairement posséder un grand diamètre, d'où résultent des vitesses périphériques élevées, aussi bien pour les portées de l'arbre creux dans ses coussinets que pour les collecteurs du moteur. C'est là, et surtout aux très grandes vitesses, un incon-

venient qui peut avoir son influence sur la sécurité du fonctionnement et sur les dépenses d'entretien, Notre collègue, M. Mazon, qui a été l'un des premiers à mettre en pratique ce système d'accouplement et qui en a une expérience toute particulière, serait certainement mieux à même que personne de nous fixer sur l'importance véritable de cet inconvénient.

» Si nous examinons cette combinaison au second point de vue, nous reconnaissons de suite qu'elle est loin d'offrir les mêmes facilités que la commande par engrenages.

» Toute réparation au rotor nécessite au préalable le décalage d'une des roues motrices pour pouvoir dégager l'arbre creux. L'essieu, les roues motrices et le rotor doivent donc être considérés comme constituant une unité distincte complète au point de vue des réserves et des réparations.

» Avec les moteurs possédant sur le stator un bobinage réparti sur toute la surface de ce dernier, cette infériorité est très gravement accentuée par l'impossibilité de ménager un joint de séparation dans la carcasse du moteur permettant de l'ouvrir pour les inspections et les nettoyages intérieurs.

» Le moteur ne pouvant s'ouvrir que par ses flasques latérales, ces opérations ne sont possibles qu'après décalage des roues motrices et démontage complet du moteur.

» Ce cas est celui des moteurs d'induction, des moteurs monophasés type série compensé ou répulsion; à mon avis, cet inconvénient est assez grand pour faire proscrire *a priori* l'emploi de cette disposition avec ces systèmes de traction.

» Je ferai remarquer toutefois que les moteurs à balais court-circuités, types Latour et Winter-Eichberg, ne présentent pas le même inconvénient et qu'ils peuvent, à ce point de vue spécial, être mis sur le même pied que les moteurs à courants continus.

» *b.* Je signalerai ensuite les combinaisons dans lesquelles le rotor est directement calé sur l'essieu lui-même, dont il fait partie intégrante, le stator étant fixé au châssis et possédant par rapport à l'essieu une suspension élastique.

» Dans ces combinaisons, la première considération est très suffisamment satisfaite, car l'on arrive par ce moyen à ne pas dépasser

par essieu un poids non suspendu de 4 ou 5 tonnes. Cette limite est déjà atteinte sans inconvénients dans les puissantes locomotives à vapeur, et les ingénieurs de chemins de fer la considèrent comme d'autant plus admissible au point de vue de la conservation des voies, qu'avec la traction électrique, à l'inverse des locomotives à vapeur, les poids sont parfaitement équilibrés et qu'il n'y a pas de perturbations provenant de l'irrégularité des efforts moteurs.

» Parmi ces combinaisons, les plus intéressantes sont, par ordre de date :

» 1° D'abord celle bien connue, imaginée par M. Auvert, dans laquelle la carcasse du stator est divisée en deux parties suspendues par leur centre de gravité, centrées autour de l'essieu et pouvant prendre, par rapport à celui-ci, un léger mouvement d'oscillation, de manière à laisser toute liberté aux déplacements de cet essieu par rapport au châssis;

» 2° Ensuite celle adoptée sur les locomotives du New-York Central, dans laquelle les stators sont complètement indépendants des rotors et les pièces polaires convenablement dessinées pour laisser libre déplacement à ces derniers.

» Ces combinaisons, qui constituent des solutions, très satisfaisantes à tous les points de vue, de la constitution de l'essieu moteur électrique, ne peuvent toutefois s'employer exclusivement qu'avec les moteurs à courant continu, à nombre de pôles déterminés.

» Ce nombre de pôles peut être de deux ou de quatre dans le système Auvert; il ne peut être que de deux dans le système du New-York Central.

» Cette dernière application a montré d'ailleurs qu'il était possible de réaliser des moteurs bipolaires d'une puissance de 500 à 600 chevaux fonctionnant d'une manière absolument parfaite sous la tension de 600 volts.

» c. Enfin nous devons mentionner les combinaisons dans lesquelles le moteur tout entier est fixé au châssis en dehors des essieux moteurs qu'il actionne alors par bielles et manivelles.

» Ces combinaisons permettent de dégager l'étude des moteurs des sujétions et limites auxquelles ils sont astreints quand ils doivent être établis concentriquement aux essieux. C'est là un

avantage marqué pour la constitution des moteurs de grande puissance. Elles donnent, d'autre part, des facilités pour l'accès et le démontage des moteurs quel que soit leur type. Enfin elles offrent un moyen naturel de solidariser les essieux, ce qui est presque indispensable avec le système de traction par moteurs d'induction triphasés (cas dans lequel on a eu plus particulièrement recours à ce genre de commande des essieux moteurs).

» Par contre, elles offrent l'inconvénient d'encombrer les locomotives électriques de mécanismes plus ou moins compliqués, au détriment de la facilité du roulement, de l'économie d'entretien et aussi de la simplicité de constitution, qui n'était pas un des moindres attraits du nouveau mode de traction. En outre, ces mécanismes animés de mouvements alternatifs limitent, par leurs effets d'inertie, les vitesses de rotation admissibles et conduisent ainsi, indirectement, à augmenter au delà de ce qui serait nécessaire le diamètre des roues motrices et les dimensions des moteurs. Aussi ne peut-on s'empêcher de considérer cette solution comme un pis-aller, auquel il ne convient d'avoir recours qu'à défaut de possibilité de toute autre.

» En résumé, si nous récapitulons notre examen comparatif au point de vue des facilités offertes par les divers systèmes de traction pour la constitution des essieux moteurs, nous trouvons que :

» 1° Le système de traction par moteurs à courants continus se prête indifféremment à toutes les combinaisons possibles. Il possède, à ce point de vue, une supériorité incontestable qui vient encore s'ajouter à l'avantage, qui lui est universellement reconnu, de conduire au type de moteur le mieux approprié à la traction et possédant, avec le moindre poids, le rendement le plus élevé.

» Cette double supériorité explique les recherches nombreuses qui ont été faites pour maintenir sur les locomotives l'emploi de moteurs à courant continu, même dans le cas où leur alimentation doit se faire par courants alternatifs; c'est la raison d'être des divers systèmes de transformation des courants sur la locomotive elle-même, systèmes parmi lesquels une mention particulière peut être faite de celui imaginé par M. Auvert.

» 2° Le système de traction par courants monophasés à balais court-circuités et à bobinage non continu sur la périphérie du

stator est, après le système à courant continu, celui qui offre le plus de facilités. Il se prête à toutes les combinaisons, sauf à celles pour lesquelles il n'est pas possible de feuilleter entièrement le circuit magnétique et où le nombre de pôles est limité, c'est-à-dire aux combinaisons particulières d'accouplement direct avec rotor calé sur l'essieu que nous avons examinées ci-dessus.

» 3° Les autres systèmes de traction par courants alternatifs monophasés, et surtout triphasés, ne se prêtent bien qu'à la commande par engrenages, pour les petites et moyennes puissances, et à la commande par bielles et manivelles, pour les très grandes puissances.

» En outre, avec les systèmes triphasés, on est conduit à l'accouplement des essieux moteurs, et l'emploi de plusieurs véhicules moteurs indépendants, d'après le système à unités multiples, n'est plus guère d'une réalisation pratique.

» Ces quelques considérations font voir que le choix du système de traction et l'étude de la commande des essieux moteurs sont liés par des liens étroits, qui prennent une particulière importance pour les locomotives de très grande puissance, et qui ne sont pas une des moindres difficultés de la constitution de ces dernières. »

M. MAZEN. — « Mon collègue et ami M. de Marchena a bien voulu vous dire que je pourrais vous donner quelques renseignements sur certaines particularités du moteur à action directe et sur l'emploi du tube creux, je m'empresse de déférer à son désir.

» Si l'on considère un essieu monté de véhicule moteur électrique et je prendrai, pour exemple, les essieux de la ligne de Paris à Versailles (*fig. 1*), le diamètre maximum au corps est de 170 mm environ. Le jeu entre l'essieu et le tube étant de 50 mm, les diamètres intérieurs et extérieurs sont respectivement de 270 mm et 320 mm; à la vitesse de 100 km : h, qui est la vitesse limite admise sur la ligne de Versailles et avec un diamètre de roues de 1,310 m au roulement, la vitesse tangentielle dans les coussinets est d'environ 6,70 m à la seconde. Cette vitesse, plutôt élevée, n'est cependant pas exagérée, d'autant mieux que la pression par unité de surface dans les coussinets est très peu importante et indépendante du travail fourni par le moteur électrique à l'essieu.

» En effet, l'induit moteur est concentrique à l'essieu entraîné.

Normalement le coussinet supporte donc simplement la pression due au poids de l'induit, pression, on le conçoit, très peu considérable, et, accidentellement, les pressions créées par l'action de l'accouplement élastique, quand l'essieu se désaxe par rapport au tube.

» Je ne vous étonnerai donc pas en vous disant qu'il a suffi d'employer, pour ces coussinets, l'artifice du réglage pour ne pas avoir de difficulté de ce côté.

» Je dois ajouter que la suspension élastique à tube creux a été

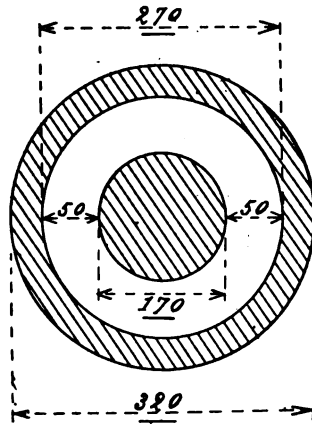


Fig. 1.

appliquée également à des moteurs à engrenages, qui donnent, sur les coussinets d'arbres creux, lieu à une réaction importante, et ceci dans les mêmes conditions de vitesse. Néanmoins nous n'avons pas rencontré là non plus de difficulté spéciale.

» Dans ces moteurs où le rapport d'engrenages est de 2,60 (*fig. 2*), le diamètre de l'arbre de l'induit est de 110 mm à la fusée et la vitesse circonférentielle au coussinet est de 6,20 m : s à 100 km : h presque équivalente, on le voit, à celle du tube creux dans ses paliers.

» Il est à remarquer du reste que le tube creux, employé aux essais de Zossen par l'A. E. G., avait, croyons-nous, 260 mm de diamètre, aux portées, ce qui, pour l'allure de 215 km : h atteinte, correspondrait à l'énorme vitesse dans les coussinets de 12,50 m : s (le diamètre des roues motrices était de 1,250 m).

» Il ne faut pas oublier, d'ailleurs, que pour une même longueur de coussinet la pression par unité de surface diminue proportionnellement au diamètre.

» Dans les locomotives de la ligne de Versailles la liaison d'une des roues de l'essieu au plateau d'entraînement, calé sur le tube

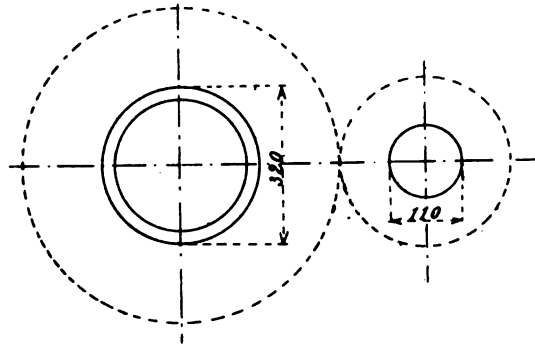


Fig. 2.

creux, se fait au moyen d'un système de six ressorts à boudins (*fig. 3*), réunissant entre eux trois points du plateau et trois points

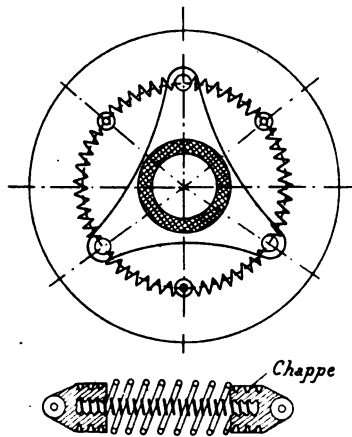


Fig. 3.

de la roue placés sur une même circonférence et à 60° l'un de l'autre.

» Ces ressorts, pour tenir moins de place, sont en réalité formés chacun de deux ressorts à boudins, à hélice à pas contraire pour atténuer les effets de torsion.

» Trop flexibles au début ils ont été remplacés par des ressorts plus raides qui ont donné depuis satisfaction. Ils constituent, dans certains cas, un organe de sécurité destiné à éviter les ruptures

d'arbre et, dans le cas des moteurs à engrenages, celles des dents et des arbres.

» En dernier lieu, j'ajouterai que, pour les moteurs à action directe, le démontage des inducteurs, dont la carcasse s'ouvre suivant un plan horizontal, est des plus faciles et que nombre de réparations peuvent être effectuées à l'induit, sans que, pour cela, on soit obligé de décaler l'une des roues motrices. C'est ainsi que l'on procède pour les avaries survenues, soit au frettage, soit au bobinage, ainsi que pour les tournages de collecteurs; seules les réparations qui nécessitent la réfection complète du collecteur et le démontage des tôles d'induit, nécessitent le décalage.

» D'ailleurs, ces décalages mêmes ne présentent pas de bien grandes difficultés et s'effectuent vraiment dans de bonnes conditions.

» Je rappellerai que le montage du tube creux avec entraînement élastique est d'origine toute française; en effet, il a été indiqué, dès 1883, par Raffard, qui l'appliquait, alors, à des moteurs de notre collègue, M. Desroziers.

» Ce même mode d'entraînement fut appliqué, vers 1888, par Short, sur certains moteurs de tramways américains.

» En ce qui concerne le diamètre du collecteur, il est pour les moteurs à action directe de l'Ouest, suivant le type, de 0,55 m ou 0,61 m, ce qui correspond à des vitesses périphériques de 11,70 m et 12,93 m : s, pour 100 km à l'heure. La vitesse périphérique des induits est de 14,20 et 15,07 m : s, chiffres très inférieurs, d'ailleurs, à ceux qui ont été choisis pour bien des types de moteurs à engrenages qui donnent des résultats très satisfaisants.

» C'est ainsi que le moteur TH.3, à engrenages, employé sur les locomoteurs de Versailles, avec entraînement élastique, a comme vitesse de collecteur et d'induit, dans les mêmes conditions de marche, 27,68 et 32,53 m : s.

» En résumé, nous estimons que les coussinets des arbres creux sont d'un entretien facile et que l'on pourrait, d'ailleurs, pour des constructions nouvelles, si cela était nécessaire, en diminuer, dans une certaine mesure, le diamètre. En diminuant les jeux (jusqu'à 35 ou 40 mm) le diamètre devient 0,300 m.

» Je ferai remarquer, en passant, que l'emploi des moteurs entières

rement suspendus et reliés aux essieux par entraînement élastique, permet de faire démarrer le moteur avant le train lui-même, d'où, au moment du départ, la force contre-électromotrice croissant avec la charge, réaction moindre sur les sous-stations et l'usine; très intéressant pour les longs trains.

» Nous pensons que, si l'on est conduit à employer le moteur à action directe, il convient de le suspendre complètement, à cause de l'effet destructif très intense des vibrations sur les enroulements d'induits, sur les collecteurs et sur les balais et aussi à cause de son effet sur les éléments des voies.

» S'il est vrai, d'ailleurs, que les systèmes à induits non suspendus, c'est-à-dire calés directement sur l'essieu, ne donnent pas des masses non suspendues supérieures à celles que l'on rencontre sur certaines locomotives à vapeur, il faut ajouter que, si les ingénieurs de chemins de fer admettent de ne pas suspendre ces masses, c'est qu'ils ne peuvent faire autrement, ce qui n'est pas le cas ici.

» D'ailleurs, si l'on examine les systèmes dans lesquels l'induit n'est pas suspendu et en particulier celui qui consiste à fixer rigidement au châssis les inducteurs, M. de Marchena nous a dit, tout à l'heure, que la disposition bipolaire était seule possible.

» Dans ce cas, il est aisé de se rendre compte combien sera imparfaite l'utilisation des matériaux; en effet, pour des roues de 1,250 m, cas de l'exemple cité, à 100 km : h, la vitesse de l'essieu, en tours par minute, sera de 420 environ, ce qui correspondra pour le moteur à $\frac{420}{60} = 7$ cycles par seconde. Condition d'ailleurs, il faut le reconnaître, très bonne pour la commutation, mais qui nécessitera des moteurs d'un poids fort élevé et par suite coûteux d'établissement.

» Je reconnais que, grâce aux progrès incessants, les induits deviennent de plus en plus robustes, la suppression des pattes en particulier donne des conditions de sécurité tout à fait spéciales; mais, malgré tout, je continue à penser que l'on en viendra finalement à la suspension complète des appareils moteurs électriques dans le cas qui nous occupe.

» En ce qui concerne spécialement la locomotive du N.-Y. Central qui nous a été décrite par M. de Valbreuze et dont vous a parlé

M. de Marchena, je tiendrais à ajouter quelques mots. Cette locomotive, en effet, comprend quatre essieux moteurs avec induits calés directement sur les essieux. Les inducteurs, comme on vous l'a expliqué, forment partie intégrante du châssis suspendu de la locomotive, en sorte qu'on peut les représenter simplement suivant le croquis ci-dessous (*fig. 4*).

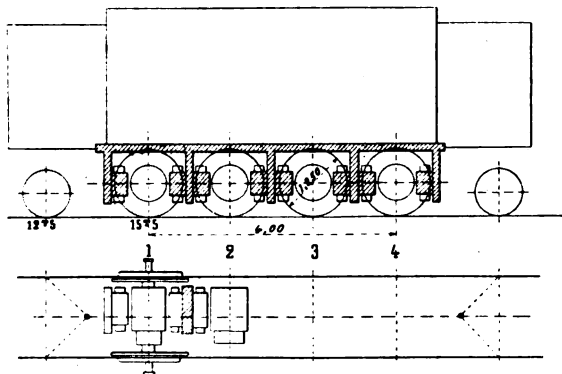


Fig. 4.

» Examinons un peu attentivement, tant au point de vue mécanique qu'électrique, de semblables dispositions.

» Une première condition essentielle de la bonne marche est que les entrefers restent constamment égaux à droite et à gauche de l'induit, sinon on s'exposerait à des attractions inégales des pôles, et, par suite, à une fatigue importante de l'essieu, des boîtes à huile et des plaques de garde.

» Ces efforts, autant que l'on puisse s'en rendre compte avec des croquis d'ensemble, seraient de l'ordre de 30 ou 40 tonnes, au contact. Cette première condition conduit donc à réduire au strict minimum les jeux horizontaux des essieux dans le sens de la voie.

» Ceux-ci devront donc rester constamment parallèles dans le plan horizontal.

» Au contraire, dans le plan vertical, par suite du jeu des ressorts, ces essieux pourront se déplacer en faisant jouer dans leurs glissières les boîtes à huile; ils pourront également, grâce aux jeux des fusées dans les boîtes à huile, se déplacer latéralement dans le sens même de leur axe, mais il ne faut pas oublier que, chaque fois que le courant sera lancé dans les moteurs de la locomotive, les induits seront immédiatement baignés dans un champ magnétique

plus ou moins intense, dont l'action aura pour effet de s'opposer, dans une certaine mesure, aux déplacements dont nous venons de parler en tendant à ramener, à la façon de ressorts de rappel, l'essieu dans une position déterminée d'équilibre.

» En sorte que les quatre essieux moteurs de la locomotive se trouveront, du fait du mode de construction adopté et des circonstances spéciales du fonctionnement des moteurs électriques, liés au châssis non seulement mécaniquement par les ressorts, mais magnétiquement, dans une certaine mesure, par l'effet des champs.

» A toutes ces causes de la difficulté du déplacement relatif des

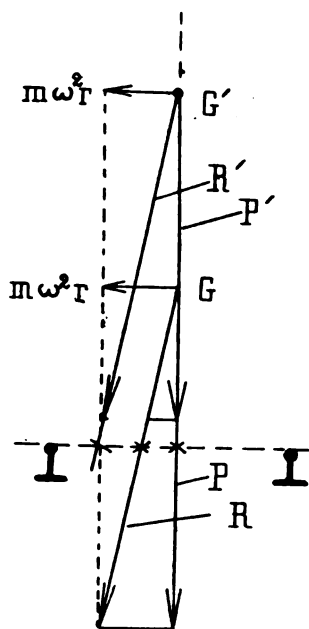


Fig. 5.

essieux, causes dont le parallélisme obligatoire en projection horizontale nous paraît d'ailleurs être la plus importante; il faudrait, bien entendu, ajouter les réactions des couples moteurs et, en particulier, dans le cas de l'attaque d'une courbe, l'effet gyroscopique qui, on le sait, a pour effet de s'opposer, dans une certaine mesure, à la déviation des axes de rotation des corps, effet, d'ailleurs, assez peu important.

» Enfin, on aurait à examiner l'action éventuelle du freinage qui, on le sait, modifie beaucoup l'action de la suspension.

» En outre, nombre d'ingénieurs de chemins de fer considèrent aujourd'hui, et à bon droit croyons-nous, que l'élévation du centre de gravité de la partie suspendue de la locomotive à vapeur, bien loin d'être un élément désavantageux, facilite au contraire, dans une grande mesure, l'inscription dans les courbes, en augmentant la charge verticale sur les rails extérieurs, dont la tendance au ripage se trouve par ce fait notablement diminuée.

» Ceci se comprend facilement sur la figure 5 : si deux machines de même poids ont leurs centres de gravité en G et G', on voit que la résultante des effets de la pesanteur et de la force centrifuge passe plus près du rail extérieur pour la machine dont le centre de gravité est le plus élevé.

» Or, la locomotive du N.-Y. Central a son centre de gravité extrêmement bas (plutôt moins bas qu'il ne le serait d'ailleurs avec des moteurs électriques ordinaires); en outre, par suite des liaisons plus ou moins réelles dont nous avons parlé, en marche, l'effet de sa suspension est peut-être atténué dans une certaine mesure. Enfin, comme nous l'avons dit, les quatre essieux moteurs doivent rester rigoureusement parallèles.

» N'est-il pas permis de se demander si l'on ne trouverait pas dans la raideur des organes de roulement de cette machine l'explication du récent déraillement survenu dans une courbe de l'une des lignes du N.-Y. Central Ry. dans la banlieue de New-York.

» Ce déraillement s'est en effet produit avec ripage du rail extérieur, après cisailage d'un certain nombre des crampons qui fixaient le rail aux traverses.

» Il serait facile d'étudier expérimentalement les mouvements secondaires des essieux, sur la locomotive électrique du N.-Y. Central, en se servant d'un appareil analogue à celui qu'emploie la Compagnie de l'Ouest pour ces sortes d'expériences.

» Cet appareil, décrit dans le numéro de février 1904 de la *Revue générale des chemins de fer*, est combiné pour enregistrer à distance simultanément les mouvements relatifs de différents points du véhicule.

» En opérant sur un train comprenant deux locomotives électriques chacune tour à tour motrice et remorquée sur un même parcours, on pourrait avoir l'influence de l'action du courant sur la

raideur des organes de roulement et aussi étudier l'action des freins.

» En ce qui concerne l'emploi, soit du moteur à engrenages, soit du moteur à action directe dans tel ou tel cas, il semble bien difficile d'assigner une limite absolue.

» Cela dépendra non seulement des vitesses, mais des puissances mises en jeu et même aussi du profil des lignes.

» L'action directe, en supprimant la résistance passive importante due aux engrenages, diminuera dans une notable mesure la résistance propre des véhicules moteurs et par suite le travail à fournir par les moteurs électriques. Cela sera d'autant plus intéressant à considérer que la ligne sera à profil plus facile.

» C'est ainsi, pour donner une idée plus nette de la question, qu'un convoi muni de moteurs à action directe descendra sans courant à une vitesse voisine de 100 km à l'heure une pente de 7 à 8 mm par mètre et que, muni de moteurs à engrenages, le même convoi sans électricité ne descendra qu'à une vitesse notablement moindre.

» Quoi qu'il en soit, les constructeurs paraissent, dans les derniers types de moteurs de traction, tendre à diminuer sensiblement la vitesse de leurs moteurs et nous pourrions citer tel moteur, construit pour une vitesse de régime de 30 km : h environ et une puissance de 180 chevaux qui n'a comme rapports d'engrenages que 2,30 environ, ce qui correspond, avec une roue de 850 mm, à une vitesse de 430 t : m.

» D'autre part, les constructeurs paraissent disposés à ne pas dépasser, comme vitesses de l'induit et du collecteur, les chiffres ci-après, qui résultent de relevés faits sur un assez grand nombre de moteurs de traction construits ces dernières années :

	Vitesses en mètres par seconde	
	normale.	maximum.
Induit	15	25
Collecteur	10	20

» Ce sont ces considérations diverses qui influenceront sur le choix du rapport des engrenages ou même de l'action directe.

» En ce qui concerne les moteurs triphasés je ferai remarquer que la disposition à engrenages est inadmissible avec l'emploi du

système en cascade, car la résistance passive des engrenages du moteur inactif en vitesse, augmenterait de beaucoup la dépense d'énergie. C'est ce qui a obligé la Valteline à employer des moteurs à action directe dans ses voitures automotrices.

» L'emploi des moteurs à caractéristiques shunt ou de moteurs asynchrones obligera à n'accoupler que des essieux à bandages très sensiblement de même diamètre; c'est une obligation acceptée quand on accouple des essieux par bielles et je crois d'ailleurs cette obligation moins assujettissante que cette dernière.

» Je désirerais vous présenter maintenant, comme suite au travail très intéressant et complet de notre collègue M. de Valbreuze, quelques considérations relatives en particulier à l'équipement électrique des lignes de la banlieue des grandes villes.

» A l'heure actuelle, la question qui, aux yeux du public, prime toutes les autres, en matière de transport, c'est la vitesse. En ce qui concerne, en particulier, les lignes de banlieue, pour réduire les temps de transport, on est conduit, vu les arrêts fréquents, à augmenter, à la fois, les vitesses de pleine marche et les accélérations.

» L'augmentation de la vitesse de pleine marche correspond à un accroissement très rapide de la dépense d'énergie. En effet, dans le cas qui nous occupe, la majeure partie de l'énergie est dépensée pour les mises en vitesses et est absorbée, pour la plus grosse part, dans les freinages forcément très énergiques.

» Donc, dans une ligne avec arrêts fréquents, on peut dire à peu de chose près que l'énergie dépensée est proportionnelle au carré de la vitesse de pleine marche qu'il s'agit d'obtenir.

» Les calculs effectués dans trois cas distincts ont donné les résultats ci-après :

Nature du chemin de fer.	Espacement des stations en km.	Vitesses de pleine marche en km : h.	Dépenses par tonne en watts-heures.
Métropolitain.....	0,5	30	40
Petite banlieue.....	2,0	60	57
Grande banlieue.....	4,0	100	72

» Si, dans le cas de la petite banlieue et pour une ligne de 20 km de longueur, on suppose les arrêts intermédiaires supprimés, on

voit la dépense d'énergie s'abaisser de près de moitié et devenir 27 ou 28 watts-heures.

» Ces chiffres, en ce qui concerne une ligne de petite banlieue, nous ont d'ailleurs été confirmés, par les ingénieurs du Lancashire and Yorkshire Railway, pour la ligne de Liverpool à Crossens, où les dépenses sont respectivement

Pour les trains omnibus.....	50 watts-heures.
Pour les trains express.....	25 —

» En ce qui concerne les accélérations, le progrès moderne veut qu'au lieu de 15 à 25 cm : s², comme cela a lieu avec la vapeur, l'électricité nous donne 50 ou 60 cm : s².

» Cette seconde condition (augmentation d'accélération) ne nous coûte rien comme dépense d'énergie, du moins directement, puisque la dépense d'énergie totale résulte seulement de la vitesse de pleine marche à obtenir. Et elle peut, dans certaines conditions, faire réaliser une économie en permettant d'abaisser la vitesse de pleine marche; mais, par contre, elle nous oblige à avoir sur le train des moteurs capables de fournir un couple très élevé, partant très puissants.

» Elle nous oblige, en outre, à avoir, comme poids adhérent, une fraction importante du poids total du convoi, fraction qui, dans les installations modernes, atteint souvent et dépasse même 50 pour 100.

» De là, la nécessité de répartir sous le convoi un grand nombre d'essieux moteurs, ce qui conduit à l'adoption du système à unités motrices multiples, auquel je ne m'arrêterai pas puisque notre collègue M. de Traz va vous en parler tout à l'heure.

» Un autre point presque aussi important aux yeux du public que la réduction du temps de transport, c'est la fréquence des départs.

» C'est encore à l'unité multiple que nous demanderons de nous donner toute facilité pour la formation ou la déformation des rames, en vue de proportionner la capacité des convois à l'importance du trafic, variable suivant les heures de la journée, tout en permettant, même aux heures peu chargées, de maintenir un nombre suffisant de départs.

» Enfin, il n'est aujourd'hui douteux pour personne que l'unité multiple, en supprimant les manœuvres multiples des locomotives à vapeur, permet de réduire au strict minimum les installations des gares terminus où s'effectuent la formation ou la déformation des convois.

» Tout ce que nous venons de dire montre que l'amélioration des transports sur les lignes de banlieue ne peut guère être obtenue que par l'emploi judicieux de la traction électrique. Ce qui pourrait donc arrêter l'exploitant c'est le point de vue économique.

» Les dépenses de premier établissement sont en effet fort élevées. On peut compter sur 700 000 à 800 000 fr par km, y compris, bien entendu, le matériel roulant pour équiper une ligne à fort trafic.

» Les dépenses totales d'exploitation, comparées à celles de la vapeur, seront certainement plus élevées, car la vitesse et la multiplicité des convois coûtent cher.

» En regard de ces suppléments de dépenses nous aurons à mettre en balance l'augmentation probable des recettes et aussi la meilleure utilisation des gares de formation.

» L'intérêt que pourra présenter la traction électrique sera donc tout à fait une question d'espèces.

» Cet intérêt ne deviendra réel que quand les voies équipées pourront être absolument spécialisées pour la traction électrique, condition indispensable pour un service très dense.

» On conçoit en effet que des trains à vapeur, marchandises ou voyageurs, de vitesses variées, produiraient des perturbations inadmissibles dans le service.

» C'est cette dernière considération de la nécessité de la spécialisation des voies, dans le cas de l'emploi de la traction électrique, qui a empêché, jusqu'à ce jour, la Compagnie de l'Ouest d'équiper à l'électricité certaines des voies de sa banlieue, qui aboutissent à la gare Saint-Lazare et qui ont, comme vous le savez, un trafic de plus en plus intense.

» Jusqu'à présent, en effet, les quatre voies aboutissant à Saint-Lazare sont toutes les quatre parcourues par des trains à vapeur de grandes lignes empêchant toute spécialisation.

» Mais la Compagnie de l'Ouest se prépare à construire deux nouvelles voies aboutissant à la gare Saint-Lazare, voies qu'elle

compte spécialiser à la banlieue. Aussi en fait-elle étudier en même temps l'équipement électrique, avec l'idée de desservir tout d'abord la ligne de Paris à Saint-Germain, ainsi que les gares, très importantes comme nombre de voyageurs, de la petite banlieue comprise entre Paris et la Garenne-Bezons par Asnières.

» Appliquée à cette ligne de Paris à Saint-Germain, la traction électrique va coûter, comme dépenses d'établissement, y compris un matériel roulant complètement neuf et moderne, une quinzaine de millions. Mais, d'un autre côté, cette transformation rendra disponible l'ancien matériel à vapeur, que l'on peut estimer à 5 millions environ.

» En outre, si à l'aide du système à unités multiples on libère seulement deux voies de la gare Saint-Lazare, comme chacune de ces deux voies représente à elle seule un capital de près de 5 millions et que la Compagnie de l'Ouest, très à l'étroit dans sa gare, aura l'utilisation immédiate de ces voies, c'est 10 millions que la traction électrique fera retrouver, en sorte que les installations rendues disponibles équivaudront presque aux dépenses d'établissement de l'équipement électrique (bien entendu il faudra dépenser un certain nombre de millions pour construire les voies nouvelles).

» Vous comprendrez que de telles considérations soient fort importantes pour le développement de la traction électrique, c'est pour cela que je me suis permis de retenir quelques instants votre attention sur ces points. »

M. DE TRAZ. — « Dans la dernière partie de sa très intéressante étude, M. Mazen conclut à l'adoption des trains à unités multiples, que notre éminent collègue accueillait en Europe, je tiens à le rappeler, alors que leur emploi possible y était à peine soupçonné.

» Les nombreuses applications modernes qu'a signalées M. de Valbreuze, au cours de sa Communication si complètement documentée, prouvent à quel point ceux qui préoyaient autrefois la répartition des moteurs sous les essieux des voitures utiles se montraient clairvoyants.

» Il me semble intéressant d'ajouter, aux considérations que M. Mazen était si qualifié pour développer devant vous, quelques

mots relatifs à l'évolution récente des équipements spéciaux des unités multiples.

» Les trains à plusieurs motrices sont nés et se sont développés sur les lignes à courant continu (500 volts) dont M. de Valbreuze a parlé tout d'abord.

» En même temps que leur emploi se répandait, la puissance des moteurs de traction croissait dans des proportions considérables. Et l'augmentation de l'intensité des courants à manier (puisque la tension restait la même) fut la cause du principal changement dans les dispositions des équipements : la substitution, presque générale, des contacteurs aux contrôleurs à cylindres.

» A l'origine des unités multiples, tous les systèmes, sauf un, comportaient des appareils semblables aux contrôleurs à main, ayant un organe dont les déplacements successifs produisent plusieurs effets différents. A l'heure actuelle, presque tous les constructeurs s'accordent pour préconiser l'emploi des contacteurs ou appareils distincts, chargés chacun de rompre ou d'établir une solution de continuité dans les circuits principaux et dont l'ensemble peut remplir les fonctions diverses autrefois réunies dans le contrôleur.

» Les raisons que l'on peut donner de cette préférence sont nombreuses.

» Je signalerai particulièrement les suivantes :

» I. Il est facile de conditionner le contacteur, dont les pièces mobiles ont une faible inertie, pour une rupture favorable de l'arc entre les deux contacts.

» II. La localisation de cette rupture, au sein d'un appareil de faible dimension, permet de rendre le soufflage magnétique particulièrement efficace.

» III. L'avarie, quand elle survient, est généralement limitée à un seul contacteur, alors qu'un mauvais arc peut mettre hors de service tout un contrôleur.

» Ces raisons sont indiscutables et, lorsqu'il s'agit de courants très importants, elles deviennent absolument prépondérantes.

» Mais on revendique pour les contacteurs d'autres avantages qui me paraissent beaucoup moins établis :

» L'interchangeabilité des pièces qui facilite l'entretien courant; je la crois presque aussi bien réalisable dans un contrôleur soigneusement étudié.

» La simplicité des organes de mise en œuvre; elle est compensée par leur grand nombre.

» La facilité de logement par répartition dans les espaces libres. La multiplicité des connections engage à réunir les contacteurs en groupes peu nombreux ou même en un groupe, ce qui diminue le poids de cet argument, si même cela n'en renverse pas la conclusion. D'ailleurs, si la considération du logement peut être presque déterminante lorsqu'on envisage l'installation d'un très gros contrôleur asservi sur un matériel existant, elle est à peu près sans valeur quand les voitures sont projetées en même temps que l'équipement.

» Il convient de signaler, à côté de ces raisons en faveur des contacteurs, les difficultés qui, pendant très longtemps, ont présidé à leur emploi, et dont les constructeurs ne se sont rendus maîtres qu'au prix de complications qui réduisent évidemment, dans une certaine mesure, leurs avantages.

» Je ne ferai que signaler la multiplication, avec les contacteurs à circuits indépendants, des enroulements à forte self-induction, dont la fragilité n'est évitée que par une construction fort délicate.

» Je vous indiquerai, en second lieu, que le contacteur réduit à son principe, s'il est parfait pour la rupture, est loin de permettre l'excellent contact des touches de contrôleurs glissant contre les frotteurs. Pour remédier à ce défaut, il a fallu qu'on munisse les appareils de dispositifs à genouillère, fort bien imaginés, mais qui diminuent la simplicité des organes.

» J'insisterai sur un défaut des premiers contacteurs qui était capital et dont la suppression a été la principale cause de la complication et de la complexité des équipements modernes :

» Le contrôleur ne peut manquer de présenter aux frotteurs ses génératrices successives dans l'ordre attendu — il ne peut en présenter une si une autre est encore en prise — il lui faut un temps appréciable pour passer d'une position à la suivante.

» Ces qualités précieuses, le simple équipement à contacteurs indépendants ne les avait pas.

» Que certains appareils soient restés collés, d'autres n'en fonctionnaient pas moins et il en résultait les circuits les plus bizarres et les plus fâcheux.

» Que des appareils, au contraire, n'aient point obéi aux commandes, un autre se levait cependant lorsque l'ordre de le faire lui parvenait et le courant était, par exemple, lancé dans le moteur sans qu'aucune résistance ait été mise en série.

» Ces inconvénients étaient d'autant plus graves que, dans les trains à unités multiples, le wattman perd la notion de ce qui se passe aux différentes motrices, dont il ne peut que fort imparfaitement estimer le rôle individuel dans la marche d'ensemble qu'il constate.

» Il était fort difficile enfin, dans les conditions d'imperfection que je viens de vous signaler, de doter les premiers équipements à contacteurs des avantages de l'automatisme dont je compte dans un instant vous dire quelques mots.

» Ces considérations devaient fatalement écarter les premiers systèmes à contacteur dont l'invention avait été la plus facile et dont le schéma se présentait même comme relativement simple à côté des schémas de systèmes à contrôleurs.

» Il a fallu des combinaisons extrêmement ingénieuses pour donner au contacteur les qualités pratiques qui avaient été préconisées dès l'apparition en Amérique des trains à unités multiples, dont les équipements doivent être *self proof*, c'est-à-dire protégés contre leurs propres fautes. On n'y est arrivé qu'en adaptant à l'organe mobile de chaque contacteur, de petits contacts auxiliaires ouvrant ou fermant les circuits commandant les autres appareils lorsque ce contacteur fonctionne.

» Pour qu'on saisisse à quel degré il a fallu compliquer les premiers équipements pour les amener à leur état actuel, d'ailleurs remarquablement conditionné à leur rôle dans la plupart des cas, il me suffira de dire que certains contacteurs de l'équipement le plus récent, à ma connaissance, ont quatre paires de ces contacts auxiliaires, indépendamment de ceux relatifs aux circuits principaux qu'ils opèrent, et que le nombre des attaches des fils *de commande*, pour une seule voiture, est 269.

» Je ne vous ai signalé au sujet des contacteurs que les inconvé-

nients qui, tout au moins pour les systèmes existants, ne sont point graves, puisqu'en vous indiquant le défaut qu'ils avaient autrefois, je vous ai signalé les remèdes, un peu compensés, il est vrai, par la complication.

» Mais il me reste à vous parler d'un point à mon avis plus sérieux.

» Certaines personnes vivent dans l'opinion que les équipements à contacteurs sont moins coûteux que les équipements à cylindre, parce que tous les contacteurs d'un équipement ont leurs pièces principales identiques. Dès que le nombre d'équipements permet la construction en série des contrôleurs, ce n'est plus vrai, car, dans ces conditions, un contrôleur pour deux moteurs de 150 chevaux ne coûte pas ce que coûtent les 15 contacteurs des équipements modernes, qui tous doivent être prévus pour pouvoir couper.

» Et, si l'on considère des intensités à manier de plus en plus faibles, l'écart entre les prix des deux systèmes augmente, et c'est ici que nous touchons, Messieurs, à l'un des côtés les plus intéressants de la question.

» Pour la régulation de deux moteurs de 150 chevaux chacun, le contacteur vaut mieux que le contrôleur, c'est évident. Mais, pour les moteurs de tramways, même de gros tramways, alors qu'il est facile de conditionner n'importe quel appareil pour une rupture satisfaisante, les avantages du contacteur sont bien moindres; il est alors très compliqué, l'étant tout autant que pour de gros moteurs, et, surtout, son prix devient rédhibitoire.

» On pourrait citer bien des cas où l'emploi des unités multiples serait fort désirable avec des moteurs de 75 chevaux, 50 chevaux. Mais il n'existe pas encore d'équipement dont le prix et la simplicité soient proportionnés au besoin que je viens de vous signaler.

» L'équipement à unités multiples économique et simple, dont le besoin est certain, serait plus aisément établi, j'en suis persuadé, avec un contrôleur qu'avec les contacteurs.

» On me permettra de signaler que notre collègue M. Blaché et moi, lorsque nous collaborions au développement des trains à unités multiples, nous avons imaginé un système mixte, basé sur le même principe que celui dont M. de Valbreuze nous a signalé

l'emploi dans les locomotives de la Mure et dans les expériences que conduit la société Krizik. Conscients des avantages du contrôleur (plus généralement de l'appareil unique à déplacements successifs), nous avons conservé le cylindre pour toutes les opérations qu'on désigne en Allemagne du nom d'*einschaltung*; au contraire l'*ausschaltung*, c'est-à-dire la rupture des courants principaux, était exclusivement assurée par une sorte de contacteur, que nous appelions *rupteur*, qui pouvait être très bien conditionné pour ce rôle et dont l'existence permettrait, dans nombre de cas, la réduction du contrôleur à des proportions économiques.

» Il circule actuellement sur le réseau du Métropolitain de Paris des trains dont l'équipement est dérivé du principe que je viens de vous exposer.

» Je vous signalerai une autre évolution des équipements à unités multiples, dans la généralisation de l'automatisme individuelle, qui ne se rencontrait à l'origine que dans un seul système.

» Les autres, après avoir fonctionné sans le régulateur dont M. de Valbreuze vous a très nettement exposé le rôle, en ont adopté l'emploi en quelque sorte progressivement, faisant limiter d'abord la rapidité du démarrage par les conditions de fonctionnement de la voiture mise en tête du convoi, puis par celle des voitures motrices du train à laquelle convenait le démarrage le plus lent.

» L'action individuelle du régulateur de chaque voiture sur la succession des changements de combinaisons dans les circuits principaux de cette même motrice est un incontestable avantage :

» Elle soumet le fonctionnement des moteurs d'une voiture aux conditions mêmes dans lesquelles cette voiture en particulier est placée et elle permet une meilleure utilisation de ces moteurs.

» Elle crée un certain décalage entre les passages, sur les diverses motrices du train, d'une combinaison de démarrage à la combinaison suivante. Ceci présente un double intérêt : il en résulte une augmentation du nombre total de crans de démarrage qui donne beaucoup plus de douceur à la mise en marche et qui, empêchant les pointes d'intensité de s'additionner, soulage l'usine.

» Je voudrais encore, au sujet des lignes à courant continu, signaler une innovation des plus intéressantes dans les équipe-

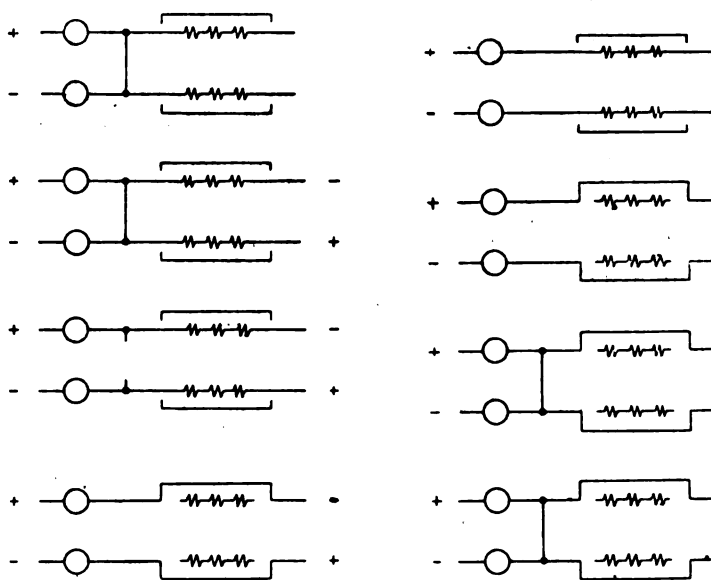
ments à unités multiples. Je veux parler de la *méthode du pont* que la plupart d'entre vous connaissent, mais dont l'application est récente.

» Le passage de série à parallèle le plus simple consistait, autrefois, à rompre tout courant moteur entre les deux groupements. Il en résultait certains inconvénients, notamment pour le confort des voyageurs, soumis à deux variations brusques importantes de l'accélération.

» On a imaginé un système laissant un moteur en circuit, qui a été l'objet de longs débats. Il n'était pas sans quelques inconvénients, et, comme il ne résolvait qu'imparfaitement le problème, souvent on lui préférait le premier.

» La méthode du pont permet le passage de série en parallèle sans rupture sérieuse de courant, sans chute dans l'effort moteur, sans sautes de l'accélération.

» Les figures ci-contre font assez clairement comprendre en quoi



elle consiste. A la vitesse à laquelle on l'effectue, dans un équipement bien calculé, la suppression du pont ne produit qu'une rupture tout à fait insignifiante.

» M. de Valbreuze a fait entrer dans la première partie de son

étude les cas d'emploi assez récents d'une tension dépassant de 200 volts ce que nous rencontrons sur les lignes courantes.

» Il n'est pas résulté de cette augmentation de tension des modifications dans les équipements à unités multiples, modifications qui toutefois deviendraient tout à fait nécessaires pour des tensions supérieures.

» Dans les limites dont il s'agit, la croissance des volts trouve une ample compensation dans la décroissance des ampères, au point que j'ai pu essayer, sans trop de mécomptes, sous les 750 volts normaux de Berlin, qui étaient même 800 et plus aux abords de l'usine, des appareils établis pour 500 volts.

» Je signalerai toutefois que, à moins de recourir à la complication des batteries, il convient de souffler à 700 volts les courants de commande, qui peuvent encore ne pas l'être aux 620 volts que j'ai plusieurs fois mesurés à Paris.

» Je ne dirai que quelques mots de l'emploi des unités multiples aux lignes à courants monophasés.

» Les exemples qu'a cités M. de Valbreuze montrent qu'il est déjà fort répandu.

» On n'a fait encore qu'appliquer à ces conditions nouvelles les dispositions consacrées par la pratique des courants continus.

» Le problème, pourtant, semble plus facile. Je signalerai notamment que le changement dans le groupement des moteurs étant généralement supprimé, les opérations qui le réalisaient ne sont plus utiles et celles qui ont pour but d'inverser le sens de la marche sont simplifiées.

» Je crois donc qu'on cherchera avec succès, pour les équipements monophasés, le retour vers des appareils plus simples et beaucoup moins coûteux, qui correspondront d'ailleurs mieux aux conditions d'emploi du courant monophasé, que M. de Valbreuze nous a précisées.

» Mais nous n'en sommes encore qu'à l'origine de ces applications. Il est possible que l'on trouve, dans les principes même du fonctionnement du moteur monophasé, les éléments de simplifications importantes dans les équipements à unités multiples.

» Je voudrais dire un mot encore au sujet des lignes à trois fils

(courant continu) qu'a signalées M. de Valbreuze dans la dernière partie de sa Communication.

» La réunion en un seul équipement des deux ponts présente quelques inconvénients, moindres pourtant que ceux qui résultaient des premiers modes d'emploi de la distribution à trois fils, alors que certains trains, ou les trains de l'une des voies, étaient sur un pont et les autres trains sur l'autre.

» Je vous signale l'application très intéressante des unités multiples à ce mode d'alimentation :

» Il suffit que les trains aient un nombre pair de motrices pour que, en les disposant alternativement sur l'un et l'autre pont, on ait une égalisation parfaite des charges, et, grâce à la commande à deux degrés, généralement adoptée dans les systèmes à unités multiples, seuls les relais de certaines voitures ont leurs bobines sur un pont et leurs contacts mobiles sur l'autre.

» Je ne voudrais pas abuser, Messieurs, de l'attention que vous m'avez si obligeamment prêtée, mais je désirerais pourtant vous signaler, comme exemple des améliorations dans l'exploitation des lignes électriques que nous sommes autorisés à fonder sur les perfectionnements déjà acquis et sur le développement des unités multiples, la très curieuse idée que me suggérait un jour M. Mazen, au cours d'une conversation.

» On pourrait aisément (et le dessin fut crayonné à l'instant même) disposer sur un bogie, d'une façon pratique, outre les deux moteurs, l'ensemble des contacteurs et la série des résistances.

» Le bogie tout entier serait recouvert d'une plaque imperméable aux arcs, et il n'en sortirait, avec le pivot, que le petit câble mince au moyen duquel on peut manœuvrer le tout.

» On voit quels avantages aurait une pareille disposition au point de vue des dangers d'incendie et surtout pour les facilités de l'exploitation.

» Pour les réparations ou l'entretien, on immobiliserait, au lieu d'une motrice, un simple bogie moteur.

» Il me semble, Messieurs, que cette ingénieuse idée, qui pourrait recevoir une application plus large, montre bien certains des avantages des unités multiples qui vous ont été exposés.

» Il me reste à remercier M. de Valbreuze, qui a su provoquer chez chacun de nous, grâce au vaste sujet qu'il a si habilement traité, le désir d'apporter des éléments à la discussion générale.

» Et je m'excuse d'y avoir cédé. »

M. MAZEN. — « Je partage entièrement l'avis de notre collègue M. de Traz en ce qui concerne la supériorité du contrôleur pour le cas des équipements de puissance réduite, à courant continu, employant le réglage série-parallèle. En effet, le contrôleur à rotation, par sa disposition même, classe automatiquement les opérations successives à exécuter et les méthodifie, au lieu que cela exige, avec les contacteurs indépendants, de nombreux circuits secondaires de contrôle. Toutefois, dans les systèmes où les combinaisons sont moins nombreuses, méthode rhéostatique en courant continu, ou variation de la tension en courant monophasé, je pense que le contacteur reprend le dessus à cause de ses avantages spéciaux.

» A tout ce qu'a dit M. de Traz on pourrait ajouter que l'emploi du contacteur permet de localiser très sûrement les effets des étincelles et des courts-circuits en diminuant ainsi les risques de propagation des incendies.

M. GUILLAUME. — « Je remarque dans la discussion précédente l'emploi du mot *contrôleur* dans un sens différent de celui qu'on lui accorde généralement en français; le nom de *combinateur* ne serait-il pas mieux approprié? »

M. DE TRAZ. — « Après les observations de MM. Guillaume et Mazen je voudrais d'abord répondre à la remarque qui vient d'être faite au sujet de l'emploi du mot *contrôleur*.

» *Combinateur* serait assurément bien préférable et, j'en suis tellement persuadé, que durant 3 années j'ai combattu, sans aucun succès d'ailleurs, pour ne faire usage que de ce terme. Je n'ai pas cru tout à l'heure que ce fut l'occasion de reprendre la lutte. Mais j'ai à mon actif d'avoir fait employer le mot très français *manipulateur* pour désigner l'appareil de commande des trains à unités multiples, qu'on avait tendance à affubler d'appellations américaines. Que ceci me fasse pardonner *contrôleur*!

» En ce qui concerne l'observation de M. Mazen, je suis tout prêt à reconnaître qu'avec le nombre très réduit des combinaisons de démarrage de certains équipements récents, les contacteurs deviennent plus économiques que les contrôleurs à cylindres; ils ont alors évidemment d'autres supériorités, comme la localisation des avaries, avantage très sérieux sur lequel je me suis peut-être insuffisamment étendu tout à l'heure.

» Mais, puisqu'on a soulevé la question du nombre des combinaisons au démarrage, qu'on me permette de dire que je ne crois pas à sa réduction, même pour les petits équipements, sauf dans des cas très rares; je pense au contraire qu'on aura tendance à l'augmenter.

» Le nombre de ces combinaisons est imposé par deux conditions, dont l'une intervient au début du démarrage, et l'autre pour la fin de la mise en vitesse.

» La première est relative au confort des voyageurs.

» Les accélérations que l'on adopte sont de plus en plus grandes, pour les raisons que M. Mazen a développées tout à l'heure. Ce n'est certes pas la valeur de l'accélération elle-même qui peut incommoder le voyageur, et serait-elle de 2 m par seconde par seconde, qu'il n'aurait aucunement à s'en plaindre, à condition toutefois qu'il s'y soit habitué. Mais ce qui importe, c'est la variation de l'accélération, et cette variation se produit, brusquement, à chaque passage d'une combinaison à la suivante.

» L'accroissement de l'accélération est alors à peu de chose près proportionnel à l'effort exercé, donc à la puissance des moteurs, et inversement proportionnel à la masse mobile et au nombre total des combinaisons depuis la première jusqu'à celle qui permet d'atteindre l'intensité maxima. Le nombre de ces premières combinaisons est actuellement, dans les équipements à unités multiples, de 2 ou 3, ce qui est tout à fait insuffisant. On n'aura guère lieu de le réduire si, au lieu de considérer un matériel pesant de trains à gros moteurs, on envisage des voitures légères à petits moteurs, puisque les deux facteurs inverses auront varié de même.

» La seconde considération, qui détermine le nombre des combinaisons après que l'intensité maxima a pu être atteinte, est qu'il

y a lieu de se maintenir le plus constamment possible auprès de cette intensité, qui permet l'accélération maxima.

» M. Mazen nous a suffisamment parlé des avantages des mises en vitesse rapides pour que je n'aie pas à démontrer qu'on renoncera peu volontiers à l'emploi continu de l'accélération élevée qui, *si elle a été bien amenée par un nombre suffisant de premières touches*, ne saurait être limitée pour la raison du confort des voyageurs. On multipliera pour cela le nombre des dernières touches.

» Ce que je viens de dire est indépendant de l'observation même qui a été faite et, pour les équipements où l'on emploierait, où l'on emploie même, à tort ou à raison, un nombre de combinaisons très réduit, le contacteur s'impose. »

M. GRATZMULLER. — « Messieurs, c'est avec un grand intérêt que j'ai suivi l'exposé, par M. Latour, de l'état actuel de la question des moteurs monophasés à collecteur pour traction. Il y a toujours gain à travailler une Communication de M. Latour et ce dernier travail est particulièrement heureux par la façon dont les différents systèmes sont logiquement rattachés les uns aux autres.

» Cependant, sur quelques points, je ne suis pas entièrement de l'avis de M. Latour et sur d'autres je désire ajouter quelques mots.

» *Moteur série.* — Je n'ai pas très bien compris les considérations sur le rendement comparé du moteur série alimenté en continu et en alternatif. Il est bien vrai que : si I est la valeur efficace du courant alternatif traversant le moteur, les pertes dans le cuivre sont les mêmes que si le moteur était alimenté avec un courant continu I . Il n'est pas certain que les pertes dans le fer puissent être considérées comme la somme :

» 1° Des pertes pf_1 , qui se produisent lorsque le moteur est traversé par un courant continu I ;

» 2° Des pertes pf_2 qui se produisent lorsque le moteur est traversé par un courant alternatif efficace I et reste calé.

» M. Latour en conclut que : « Le rendement tend vers celui du » moteur à courant continu quand la fréquence décroît indéfiniment. »

» Cela résulte certainement de ce que pf_2 tend vers zéro. Or ce résultat est manifestement inexact. Il provient de ce que, même en

admettant les hypothèses de M. Latour concernant les pertes dans le fer, le moteur étant traversé par un courant alternatif de valeur efficace I et de fréquence infiniment petite, la vitesse de rotation étant déterminée, il y aurait bien mêmes pertes que si le moteur était traversé par du continu, mais il n'y aurait pas du tout même puissance et, par suite, il n'y aurait pas même rendement.

» Autre point : *On améliorera le rendement du moteur série par l'emploi d'une polarité élevée.* Pour préciser les idées, supposons qu'il s'agisse d'établir un moteur 50 chevaux à 25 périodes, qui correspond généralement aux besoins de la traction des tramways départementaux.

» En répulsion, on lui donnerait vraisemblablement 4 pôles, sa vitesse de synchronisme serait 750 t : m. En moteur série, M. Latour lui donnerait probablement 8 pôles. Or, la seule critique sérieuse des moteurs monophasés est le volume du collecteur. Voyons sommairement comment dimensionner ce collecteur. On se donne la vitesse du moteur que M. Latour prendrait aussi élevée que possible : on s'aperçoit très vite que la vitesse périphérique permise au collecteur en détermine la circonférence et, par suite, le nombre de lames.

» C'est le nombre de lames par pôles qui détermine le voltage du collecteur et, par suite, son volume. Si, avec 4 pôles, on arrive à faire un rotor à 250 volts avec 8, pôles, à conditions égales de commutation, le voltage serait 125 volts. En résumé, doubler le nombre de pôles revient à diviser par 2 le voltage du moteur, à doubler le courant et la surface frottante, soit à doubler le volume du collecteur.

» *Moteur répulsion.* — M. Latour admet que les pertes dans le fer sont le double des pertes du moteur à courant continu. Je n'ai pas parfaitement compris la justification de ce point.

» Quant à l'accroissement exagéré de l'induction dans l'axe du court-circuit aux vitesses hypersynchrones, on peut en limiter la valeur, grâce à l'accroissement de la self-induction dans le circuit fermé par les balais, au moyen de l'introduction, directe ou par transformateur, dans ce circuit, d'une portion d'enroulement statorique.

» Cette disposition a un effet heureux sur la commutation : elle a été brevetée pour le compte de la Thomson-Houston, il y a quelques années.

» *Moteur répulsion compensé.* — La figure 1 représente schéma-

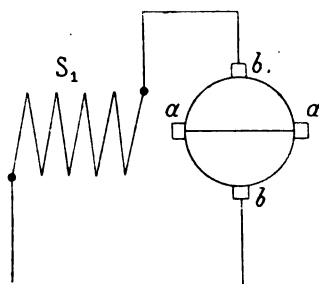


Fig. 1.

tiquement le moteur répulsion compensé de M. Latour. Nous allons examiner avec un peu d'attention les conditions de fonctionnement de ce moteur, principalement au point de vue des vitesses hypersynchrones.

» On démontre que si $I \sin \omega t$ est le courant alimentant le moteur, le court-circuit aa est le siège de deux courants : d'abord un courant en $I \sin \omega t$ destiné à annuler le flux dû à l'induction mutuelle du stator; ensuite, un courant en $I \cos \omega t$ dû à la rotation du rotor dans son propre champ.

» On démontre que le flux en $\cos \omega t$ dans l'axe aa est égal en valeur efficace au produit du flux de l'axe bb par le rapport de la vitesse N du rotor à la vitesse du synchronisme. On fait pour cela les hypothèses suivantes : champs à répartition sinusoïdale, résistances supposées nulles et, par suite, saturation éloignée. Ces hypothèses sont suffisamment exactes pratiquement.

» On voit que, à travers le rotor, les seuls flux existants sont dans l'axe bb le flux dû aux ampères-tours $A \sin \omega t$ introduit par le courant traversant les balais bb et dans l'axe aa le flux dû aux ampères-tours $A \frac{\alpha}{\omega} \cos \omega t$ introduits par la rotation du rotor à la vitesse α dans le champ d'axe bb de pulsation du rotor. Soit $\varphi \sin \omega t$ le flux d'axe bb ; celui d'axe aa sera $\frac{\alpha}{\omega} \varphi \cos \omega t$.

» Sous balais *aa*, chaque spire sera le siège d'une force électromotrice statique $\omega\varphi \cos \omega t$ et d'une force électromotrice dynamique $\alpha \frac{\alpha}{\omega} \varphi \cos \omega t$, de telle sorte que la force électromotrice résultante sera $\omega\varphi \cos \omega t \left(1 - \frac{\alpha^2}{\omega^2}\right)$.

» Pour un courant donné à travers le moteur, la tension en vitesse, par spire sous balais *aa*, est égale au produit de la tension à l'arrêt par la différence entre l'unité et le carré du rapport de la vitesse de rotation à la vitesse de synchronisme.

» Si l'on suppose $\frac{\alpha}{\omega} = \sqrt{2}$ la tension par spire sous balais *aa* est égale à la tension au démarrage.

» Sous balais *bb* la tension statique est $\omega\varphi \frac{\alpha}{\omega} \sin \omega t$ et la tension dynamique $\alpha\varphi \sin \omega t$, la tension résultante est nulle à toute vitesse. En se limitant à des vitesses de 25 à 30 pour 100 supérieures au synchronisme, les moteurs fonctionnent encore très bien, à condition d'avoir soin de maintenir des inductions élevées à la base des dents du rotor.

» Mais si l'on pouvait limiter l'accroissement des ampères-tours en $\cos \omega t$ entre balais *aa*, on réduirait la tension d'étincelles notablement. Il est vrai que l'équilibre des tensions statiques et dynamiques des spires sous balais *bb* ne serait plus satisfait, mais la tension maximum sous tous les balais pourrait être ramenée à des limites satisfaisantes. Supposons, par exemple, que nous puissions maintenir un courant $I \cos \omega t$ dans le court-circuit, à la vitesse α , au lieu de $\frac{\alpha}{\omega} I \cos \omega t$ qui circulait précédemment. Dans ces conditions sous balais *aa* la force électromotrice résultante sera

$$e_1 = \varphi \cos \omega t (\omega - \alpha).$$

Sous balais *bb* elle sera $e_2 = \varphi \sin \omega t (\alpha - \omega)$.

» Les tensions sous balais *aa* seront égales à celles sous balais *bb*,

» Si $\alpha = \omega \sqrt{2}$

$$e_1 = \omega\varphi \cos \omega t (\sqrt{2} - 1),$$

$$e_2 = \omega\varphi \sin \omega t (\sqrt{2} - 1).$$

» C'est-à-dire que, à 40 pour 100 au-dessus du synchronisme, la

tension d'étincelles sous tous les balais sera 40 pour 100 de ce qu'elle aurait été pour le même couple au démarrage, sous balais aa , si l'on avait conservé le court-circuit simple.

» La commutation pourra être devenue très satisfaisante.

» Pour un moteur à 4 pôles, 25 périodes, la vitesse pourra être portée à 1100 tours.

» Pour limiter le flux en $\cos \omega t$ on intercalera (*fig. 2*) entre

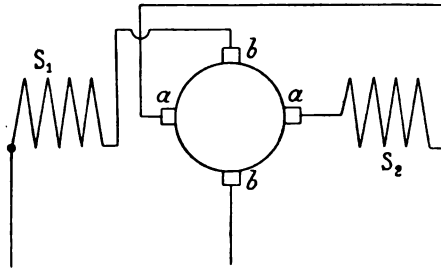


Fig. 2.

balais aa un enroulement statorique, de même axe que le court-circuit, de manière à accroître la self-induction opposée à la force électromotrice dynamique développée entre balais aa . Remarquons que ce même système empêche les inductions exagérées aux vitesses hypersynchrones.

» Pour ne pas compliquer le moteur on pourra intercaler dans le court-circuit le secondaire d'un transformateur dont le primaire est branché en dérivation aux bornes du stator.

» Mais, dans la plupart des cas, le moteur à court-circuit simple pourra être employé.

» *Moteur série à commutation parfaite.* — Si $I \sin \omega t$ est le courant traversant le moteur L , il faudra développer, dans l'axe des balais, un champ en $\varphi \cos \omega t$. Ce flux induira entre les balais une force électromotrice statique, en phase avec $\sin \omega t$, de signe contraire à celle induite dynamiquement par la rotation dans le flux perpendiculaire à l'axe des balais.

» Remarquons que ces moteurs comportent trois enroulements sur le stator et que le pôle de commutation gêne l'enroulement compensant la réaction d'induit.

» Une dernière objection : je crois qu'il ne faut pas laisser passer sans protester l'attaque violente de M. Latour contre la brutalité de l'industrie qui malmène volontiers les matériaux; nous savons tous, plus ou moins directement hélas! que lorsque l'industrie malmène

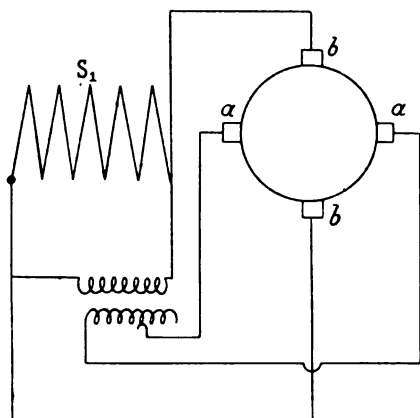


Fig. 3.

les matériaux elle s'en repent rapidement et que les pires cataclysmes s'ensuivent. Non, l'industrie cherche seulement à tirer des matériaux tout ce qu'ils peuvent donner et certaines conceptions, très simples seulement en théorie, ont été rejetées, parce qu'elles négligeaient des facteurs importants et faisaient travailler des matériaux dans de très mauvaises conditions. On pourrait citer comme exemple la machine unipolaire. »

M. le PRÉSIDENT remercie les orateurs qui ont pris part à cette discussion si fructueuse pour le développement de la traction électrique et félicite M. de Valbreuze de l'avoir provoquée au nom de la quatrième Section d'études. (*Applaudissements.*)

Le dépouillement du scrutin étant terminé, M. le PRÉSIDENT proclame les résultats du vote pour le renouvellement partiel du Comité d'administration et l'élection de la Commission des Comptes.

Suffrages exprimés	335
Majorité	168

PRÉSIDENT :

MM.	<i>Pour l'exercice 1908-1909.</i>	Nombre de voix obtenues
BOUCHEROT (P.), Ingénieur conseil.....		335

VICE-PRÉSIDENTS :

ARNOUX (R.), Ingénieur constructeur.....	333
LARNAUDE (A.), Administrateur-directeur de la <i>Compagnie française pour la fabrication des lampes électriques à incandescence</i>	333

SECRÉTAIRE GÉNÉRAL :

ARMAGNAT (H.), Ingénieur conseil.	331
--	-----

SECRÉTAIRES :

BOUTIN (M.), Ingénieur des Arts et Manufactures	334
VALBREUZE (R. de), Ingénieur électricien.....	333

MEMBRES :

Pour 3 ans.

ALLIOT (R.), Ingénieur des Arts et Manufactures.....	335
BLONDEL (A.), Ingénieur du Service central des phares.....	334
CORNUAULT (E.), Administrateur-délégué de la <i>Compagnie du gaz de Marseille</i>	333
DAVID (Ch.), Chef de travaux au Laboratoire central d'Électricité..	331
DURAND (A.), Chef de travaux au Laboratoire central d'Électricité.	331
GUILLAUME (Ch.-Ed.), Directeur-adjoint du Bureau international des Poids et Mesures	335
HELMER (O.), Directeur de l' <i>Usine d'Électricité de MM. Schneider et Cie</i>	334
LABOUR (E.), Ingénieur des ateliers de la <i>Société l'Éclairage électrique</i>	331
LELONG (R.), Ingénieur principal du Génie maritime.....	333
LORIN (Ch.), Ingénieur des Arts et Manufactures	331
MARCHENA (DE), Ingénieur en chef de la <i>Compagnie française Thomson-Houston</i>	332
PELLISSIER (Georges)	332
POMEY (J.), Ingénieur des Télégraphes.....	333

MEMBRES :

Pour 3 ans (suite).

MM.	Nombre de voix obtenues.
SARTIAUX (Eug.), Ingénieur chef des Services électriques au <i>Chem. de fer du Nord</i>	329
TISSOT (C.), Lieutenant de vaisseau, professeur à l'École navale...	335
TOUANNE (DE LA), Ingénieur des Télégraphes.....	332

Pour 2 ans.

BOISTEL (E.), Ingénieur conseil.....	337
MONTPELLIER (J.), Rédacteur en chef de <i>l'Électricien</i>	327

COMMISSION DES COMPTES :

BELUGOU (V.), Ingénieur principal des Télégraphes.....	333
BOCHET (A.), Ingénieur en chef de la <i>Maison Sautter, Harté et C^{ie}</i> .	334
BRUNSWICK (E.), Ingénieur principal chargé du service technique de la <i>Maison Breguet</i>	331

M. le PRÉSIDENT donne alors lecture de deux télégrammes qui lui sont adressés par M. Maurice Leblanc, président sortant, et par M. H. Becquerel, président entrant, qui, empêchés tous les deux, s'excusent de ne pouvoir assister à la séance de l'Assemblée générale :

Télégramme de M. Maurice Leblanc.

Retenu Bergamo par expériences traction monophasée, impossible à grand regret revenir pour assemblée ; sincères excuses particulièrement à nouveau président Becquerel, glorieux représentant d'illustre dynastie à qui aurais été heureux souhaiter bienvenue et exprimer admiration pour nombreux travaux, surtout pour découverte radioactivité. Félicitations à Boucherot, remercie collègues honneur fait en me nommant Président. Malheureusement trop peu de temps consacrable à la Société, conseille nommer désormais Président moins occupé.

M. LEBLANC.

Il ajoute :

M. GUILLAUME. — « La clôture de cette Séance devait être, pour chacun de nous, une véritable fête de l'esprit ; nous espérions tous, en effet, avoir la joie d'applaudir l'électricien éminent dont les fonctions de Président de notre Société prennent fin ce soir, et le physicien célèbre qui, dans l'exercice qui s'ouvre, est appelé à diriger

nos travaux. A notre grand regret, il n'en sera point ainsi, deux télégrammes reçus à l'instant nous informent de l'impossibilité où se trouvent nos deux Présidents d'assister à la Séance d'aujourd'hui.

» Je n'aurai point la présomption de chercher à substituer ma parole à celles, si autorisées, que nous espérons entendre. Il me sera permis cependant de résumer en quelques mots l'enseignement qui se dégage des rapports très documentés qui nous ont été présentés au cours de cette Séance, et qui nous ont permis de constater la prospérité grandissante de notre Société.

» Aux deux principaux éléments de son activité, il y a déjà de longues années : les séances et le *Bulletin*, sont venus s'ajouter, comme une greffe sur un arbre vigoureux, le laboratoire et l'école. Et loin de s'épuiser ou de se disséminer dans ces nouvelles entreprises si prospères, elle a vu, d'année en année, ses séances plus suivies et son *Bulletin* plus important.

» Nous le devons au dévouement de tous ceux qui ont eu la charge de diriger notre Société, et qui se sont dépensés sans compter : les présidents, les secrétaires généraux, et le trésorier, aidés par les organes administratifs de la Société, les présidents, secrétaires et les membres des Sections chargées, suivant une très heureuse pratique, de préparer les séances en discutant par avance les Communications qui doivent y être présentées. Nous le devons enfin au bon vouloir de tous, et à cette conviction profonde que le travail de la Société internationale des Électriciens est utile et profitable à chacun, comme à la communauté.

» Nous voyons aussi le nombre des membres augmenter régulièrement ; et, si la mort nous en enlève chaque année quelques-uns, si le changement des occupations en entraîne d'autres à donner leur démission, les vides se combleront bientôt parmi nous. L'année dernière, à pareille époque, nous étions 1306, aujourd'hui, nous sommes 1460. Cet accroissement sans précédent est dû en grande partie à l'activité inlassable déployée par notre Secrétaire général, M. Armagnat, pour attirer à nous tous ceux qui, de près ou de loin, sont susceptibles de s'intéresser à nos travaux.

» Le nombre des membres d'une société n'est pas seulement le signe de sa prospérité, elle en est la condition. Ainsi que vous avez

pu le voir dans l'exposé de la situation financière, notre *Bulletin* constitue pour notre Société une grosse dépense, que nous ne devons nullement regretter, car les travaux présentés dans nos séances présentent un intérêt très grand pour toute l'industrie électrique; la Société subventionne aussi le laboratoire dans la mesure de ses moyens. Tout accroissement de nos ressources pourra conduire à améliorer encore nos services, et augmenter l'utilité de notre Société. Il est donc de l'intérêt bien compris de chacun de nous de s'associer aux efforts tentés pour accroître le nombre de nos Collègues.

» Dans l'exercice que nous inaugurons aujourd'hui, nos débats seront présidés, avec la haute autorité qui l'a précédé parmi nous, par notre illustre Collègue, M. Becquerel, dont l'œuvre est indissolublement liée au bouleversement des idées qu'apporta au monde la découverte de la radioactivité.

» Nul n'ignore que, conformément aux idées qui semblent aujourd'hui probables, la découverte des phénomènes radioactifs et de toutes leurs conséquences vient, à un siècle de distance, compléter, en la limitant, l'œuvre de Lavoisier qui, comme toute œuvre humaine, était une œuvre provisoire. Elle a dominé la Chimie du xix^e siècle, et la croyance à la simplicité, comme à l'indestructibilité des éléments a été féconde en découvertes. L'aurore du xx^e siècle lui a apporté une restriction et renouvelé un rêve des temps passés. C'est ainsi, par une série d'oscillations amorties, que procède l'esprit humain; si elles échappent à nos investigations, au moins nous trouvent-elles préparés à en accepter les lois. »

La séance est levée à 11^h 20^m du soir.

LES PROGRÈS RÉCENTS DES LAMPES A ARC : LES ARCS A FLAMME (suite et fin).

TABLEAU I.

COMPARAISON DES RENDEMENTS LUMINEUX OBTENUS AVEC DIFFÉRENTES DISPOSITIONS
DE CHARBONS MINÉRALISÉS (M) OU PURS A MÈCHE ORDINAIRE (P).

Polarité, diamètre et nature des charbons (P = pur, M = minéralisé)		Régime électrique moyen.		Puissance électrique.	Intensité lumineuse moyenne sphérique.	Consommation sphérique.
inférieur.	supérieur.	Ampères.	Volts.	— Watts.	— Bougies décimales ⁽¹⁾ .	— Watts par bougie décimale.
+9 mm (M)	—7 mm (P)	3,03	44,4	134,5	914,6	0,147
—7 — (P)	+9 — (M)	3,09	43,0	132,9	792,2	0,167
—9 — (M)	+7 — (P)	3,14	39,1	122,8	239,4	0,513
—9 — (M)	+9 — (M)	3,05	42,7	130,2	908,0	0,143
+9 — (M)	—9 — (M)	3,11	44,0	136,8	1090,8	0,125
+7 — (P)	—9 — (M)	2,93	46,0	135,0	273,0	0,491

IV. — DISPOSITIONS COMMUNES AUX ARCS A FLAMME.

» *Production de gaz nocifs par la flamme.* — On a vu plus haut que, fort heureusement, le fluorure de calcium se retrouve indécomposé après son passage dans l'arc. Mais quels que soient les sels minéraux employés, les arcs à flamme donnent lieu à la formation abondante de produits nitreux et, en particulier, du peroxyde d'azote malodorant et dont l'action est délétère. On sait depuis longtemps que ce corps tend à se produire sous l'influence de l'étincelle électrique ou de l'arc électrique, par la combustion de l'azote en présence de l'oxygène de l'air; les arcs-flamme, par le fait de leur grande longueur, favorisent la production des vapeurs nitreuses; et la présence des vapeurs minérales ionisées (surtout les ions du fluor) y contribue aussi énormément par action catalytique. Ces vapeurs étant corrosives, il faut se garder de les laisser

⁽¹⁾ L'unité hefner n'est que 0,885 de la bougie décimale française.

Ces essais ont été faits avec une qualité de charbon minéralisé plus ancienne que celle fabriquée actuellement par la Société Auer.

pénétrer dans le mécanisme de la lampe et dans les appartements. D'autre part, différents artifices ont été préconisés pour les neutraliser; en particulier, MM. Siemens frères ont proposé des substances ammoniacales (carbonate d'ammoniaque) placées, par exemple, dans le cendrier de la lampe. M. Dobkevitch a obtenu une solution plus pratique, croyons-nous, par l'emploi des hydrocarbures se réduisant en vapeur, par exemple des pétroles ou de l'essence de térébenthine, qui décomposent le peroxyde d'azote avec production d'eau.

» *Évacuation des vapeurs nitreuses et des fumées.* — Les fumées très abondantes, si elles montent dans le mécanisme, l'encrassent autant qu'elles le corrodent. Ces deux inconvénients seront évités difficilement avec les lampes en V à charbons oscillants, à cause des ouvertures trop larges ménagées dans l'économiseur, mais aisément avec les lampes carbo-minérales. Dès 1901, je me suis préoccupé de résoudre ce problème par différents procédés. Dans un premier dispositif, le globe de la lampe est fermé, à sa partie supérieure, par une platine portant dans son centre l'économiseur (en substance isolante ou en fonte isolée de la masse), et, autour de lui, un réflecteur en tôle émaillée, sur lequel se dépose la plus grande partie des fumées, sans en diminuer l'action réfléchissante. Ce réflecteur peut être plutôt plat que creux, pour ne pas plonger l'arc dans les fumées; ces dernières sont directement évacuées au dehors par des ouvertures convenablement disposées au-dessous d'une collerette protectrice, comme le présente la figure 8 (¹).

» Dans une seconde solution plus récente, que représente la figure 6, des cheminées tubulaires verticales partent de la platine qui ferme le globe à la partie supérieure et s'élèvent directement, à travers le boisseau du mécanisme, jusqu'au-dessus de la platine supérieure de la lampe; elles servent de guide au porte-charbon supérieur et donnent à la lampe une extrême rigidité, en

(¹) La maison Kœrting et Mathiessen a indiqué postérieurement un dispositif équivalent et plus compliqué, consistant dans un habillage muni à sa partie inférieure d'une garniture en forme de gouttière dont le bord interne, soigneusement tourné, vient s'appliquer d'une manière étanche autour du bord de la platine; la gouttière dans laquelle s'engage la monture du globe sert au dégagement des gaz.

même temps qu'elles entraînent énergiquement les produits de la combustion et les évacuent au-dessus du boisseau de la lampe, tout en produisant une sous-pression dans le globe.

» Ce procédé d'évacuation permet d'appliquer les lampes à

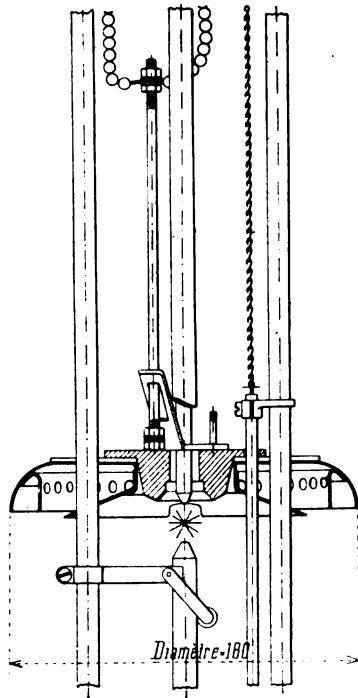


Fig. 8. — Détail de la coupe verticale d'une lampe Bardou à arc carbo-minéral montrant le dispositif préservateur : économiseur entouré d'un réflecteur et fixé dans une platine sous laquelle s'adapte la monture du globe, au-dessous des orifices. Cette figure montre aussi les frotteurs qui amènent le courant aux charbons : en haut une bague mobile coincée par un contrepoids ; en bas une fourchette contre laquelle le charbon est pressé par un galet.

flamme même à l'intérieur des locaux habités, si l'on installe dans les plafonds des conduites d'évacuation débouchant au dehors, et reliées par des tubes métalliques flexibles aux orifices supérieurs des cheminées des lampes ⁽¹⁾.

(¹) Les constructeurs allemands et anglais ne se préoccupent pas assez de l'évacuation ; ils se bercent de l'illusion qu'employant moins de matières minérales dans leurs charbons, ils n'encrasseront pas les mécanismes ; en réalité, l'encrassement se produira seulement un peu moins vite qu'avec des charbons très minéralisés, mais, faute d'évacuation, il ne sera pas évité.

On a proposé aussi une solution plus radicale, mais non plus efficace, pour éviter

» *Réduction de la chute de tension dans les électrodes.* — On a signalé plus haut les diamètres extrêmement fins des charbons à flamme à mèche et leurs longueurs inusitées (jusqu'à 800^{mm}).

» Pour diminuer la chute de tension excessive qui en résulte, dans les lampes en V particulièrement, plusieurs constructeurs cuivrent les charbons, solution médiocre, ou emploient des charbons munis d'une âme métallique, introduite après coup dans un trou; tel est le cas, par exemple, des charbons Excello, qui contiennent un long fil d'aluminium, préalablement courbé pour qu'il se serre de lui-même contre les parois du trou; la Société Auer emploie, pour certains charbons dizones, une solution bien préférable, due à M. Dobkévitch, et qui consiste dans l'addition d'un fil de cuivre fin ou de nickel, filé avec la pâte avant la cuisson, et intimement lié par conséquent au charbon.

» La meilleure solution est encore d'ajouter (comme le montre la figure 8) des amenées de courant près des pointes des charbons; les dispositifs combinés avec un mécanisme puissant et réalisés avec la collaboration de M. Dobkévitch ont l'avantage de ne produire aucun frottement appréciable et, par conséquent, de ne pas gêner le recul des charbons, obtenu avec autant d'énergie que s'il n'y avait pas de frotteurs (¹).

» On rend ainsi absolument négligeable la variation de la tension perdue dans les charbons, au grand bénéfice du parfait réglage de l'écart (²).

» *Qualités de la lumière.* — Une question dont il y a lieu de se préoccuper avec les arcs à flamme pour les comparer, c'est la

l'entrée des fumées dans le mécanisme; c'est de placer celui-ci au-dessous du globe, en sacrifiant l'aspect de la lampe et la simplicité du mécanisme.

Enfin, j'avais réalisé moi-même, en 1904, pour augmenter la durée, une lampe à arc en vase clos, à circulation forcée des gaz (par ventilateur) dans des chambres d'épuration; mais le résultat est imparfait et ne justifie pas la complication du dispositif.

(¹) Voir la description de ce mécanisme par M. Bourville dans l'*Électricien* de 1906.

(²) Faute des précautions précédentes, des charbons très résistants produisent une réduction considérable de la longueur de l'arc au début de l'allumage, d'autant plus marquée avec les arcs à flamme que la chute de potentiel constante aux électrodes (20 volts) est bien plus faible que celle d'un arc au carbone (30 volts), et joue un rôle bien moins important par rapport à la chute de voltage dans la colonne gazeuse (fig. 3).

qualité de leur lumière au point de vue de la facilité de lecture et de la fatigue de l'œil.

» On a fait ressortir avec raison que l'arc au mercure contient des radiations favorables à la vision par suite de sa richesse en rayons voisins de $0,55\ \mu$. Il est vrai qu'il est trop riche en rayons

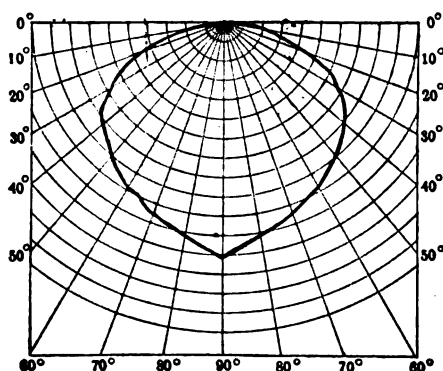


Fig. 9. — Représentation qualitative des formes des courbes de distribution de l'arc *intensif* à feu nu, d'après les expériences du professeur Wedding.

très réfringibles, mais ceux-ci sont absorbés par le verre ordinaire employé; tandis qu'autour des lampes au fer ou à la magnétite,

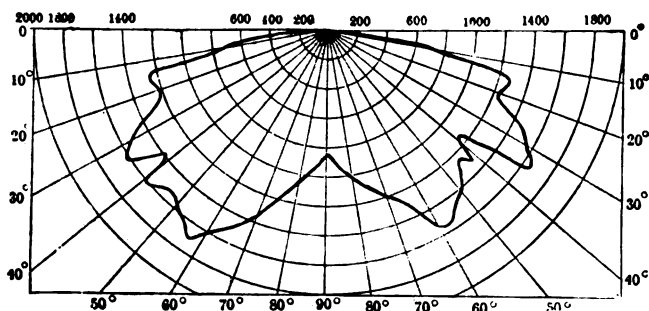


Fig. 10. — Représentation qualitative des formes des courbes de distribution de l'arc *charbon-minéral* à feu nu, d'après les expériences du professeur Wedding sur une lampe Auer.

rien n'arrête les rayons ultra-violet, qui produisent très facilement de la conjonctivite ⁽¹⁾; il ne serait donc pas prudent d'employer de pareils arcs dans un atelier de dessin ou pour l'usage ordinaire. Au contraire, les arcs au calcium, pauvres en rayons ultra-violet

(1) Grâce à cette propriété, les lampes au mercure dans le quartz sont employées aujourd'hui pour les applications médicales et photographiques. L'arc entre électrodes en fer pur, dont nous ne parlons pas dans cette Communication, parce qu'il n'est pas éclairant comme les autres arcs à flamme, est aussi employé avantageusement pour les

et riches en rayons jaunes et rouges, sont satisfaisants aussi bien au point de vue de l'acuité visuelle qu'au point de vue de la fatigue. Le seul inconvénient commun à tous les arcs à flamme est un certain tréblotement de la lumière. Aussi, pour ce motif, ne peut-on encore recommander les arcs à flamme pour les applications dans les ateliers de dessin, bureaux, etc.

» Au point de vue du jugement des couleurs, tous les arcs à flamme sont un peu plus sujets à caution; c'est ce qui a motivé la création plus récente de certaines lampes à arc long au carbone pur (lampes de T. L. Carbone, lampes Bivolta, etc.), à charbons en V et à longue flamme soufflée par un champ magnétique très doux et uniforme (¹); en poussant la densité de courant suffisamment pour entraîner dans l'arc du charbon à l'état vésiculaire, on obtient une flamme très éclairante au lieu de la flamme incolore des arcs ordinaires. Mais les lampes de ce genre exigent des intensités de courant assez élevées et une tension de 110 volts, de sorte que le rendement reste sensiblement du même ordre que pour un arc ordinaire de même puissance et l'avantage obtenu réside seulement dans la lumière blanche, comparable à celle du jour.

» *Régimes pratiques et consommations d'énergie.* — J'ai résumé dans le Tableau II toutes les conditions pratiques d'emploi des lampes européennes, d'après les données des constructeurs, notamment en ce qui concerne les voltages et groupements les plus favorables pour chaque grosseur de charbons (²).

mêmes applications à cause de sa grande richesse en rayons ultra-violet (radiations très riches aux environs de la raie F, c'est-à-dire $\lambda = 0,486 \mu$). Voir les lampes Bang, Sanitas, Broca-Pellin, etc.

(¹) Cf ANDREWS, *Journ. Inst. El. Eng.*, 1906, vol. XXXVII, n° 179.

(²) J'ai montré, au Congrès de Saint-Louis (*loc. cit.*), comment varie, pour un arc carbo-minéral, la puissance lumineuse en fonction de l'écart des charbons ou du voltage entre leurs pointes. La loi est analogue à celle que j'ai indiquée autrefois pour les charbons purs; mais après le coude, correspondant à 50 volts, 2000 bougies sphériques, la courbe continue à monter jusqu'à 70 volts, 2500 bougies sphériques, régime trop instable pour être pratique; avec un charbon positif en haut, l'accroissement de lumière en fonction de l'écart est arrêté bien plus tôt.

Pour se servir utilement du Tableau II dans les comparaisons entre les divers types, on doit se reporter toujours à la consommation en watts par lampe, rhéostat compris, qui figure dans la troisième colonne. Par exemple, la lampe intensive de 8 ampères qui consomme 440 watts pour 1060 bougies, n'est pas à comparer avec la lampe

» Les résultats photométriques moyens, obtenus sur des lampes à courant continu et à courant alternatif ordinaires de puissance correspondante, sont mentionnés par comparaison dans la dernière colonne de ce Tableau.

» On voit que le grand intérêt de l'arc carbo-minéral c'est qu'il permet de réaliser des unités de très petite puissance, comme le montrent les Tableaux, tout en obtenant un très bon rendement; on pourrait encore descendre plus bas avec la lampe de 3 ampères,

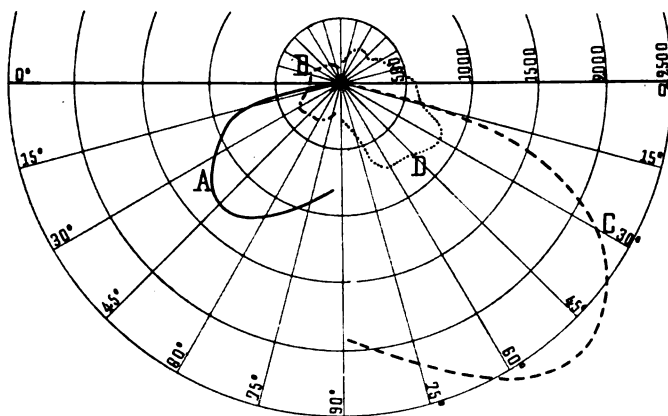


Fig 11. — Courbes photométriques à feu nu et sous globe opale de deux arcs *carbo-minéraux*, courant continu, de 5 ampères (moitié droite de la figure) et 3 ampères (moitié gauche) sous 50 volts. Intensités moyennes sphériques en bougies : A = 420 (feu nu), B = 288 (globe), C = 786 (feu nu), D = 586 (globe). Intensités hémisphériques : A = 790, B = 363, C = 1650, D = 765.

55 volts (voir *fig. 11*); mais la lumière devient moins fixe et plus rouge. Les régimes plus élevés donnant toujours la lumière plus fixe et plus blanche, la lampe de 250-300 watts, à courant continu, ou de 350-400 watts, à courant alternatif, est la plus recommandable pour l'éclairage public (¹).

de 8 ampères carbo-minérale qui n'en consomme que 270, mais avec la lampe carbo-minérale de 12 ampères qui consomme aussi 440 watts pour 1900 bougies. Cette nécessité de rapporter la puissance lumineuse à la puissance électrique et non pas à l'intensité provient de ce que pour toutes les lampes à arc, quelles qu'elles soient, la consommation spécifique en watts par bougie augmente rapidement quand la puissance descend au-dessous de 400 watts. J'ai donné, en 1900, avec M. Jigouzo (Congrès international des Électriciens) les courbes représentant le rendement des arcs continus et alternatifs moyens, qui mettent bien ce résultat en évidence; de même, les courbes présentées à la Société des Électriciens, en 1901, par MM. Laporte et Léonard.

(¹) On peut citer comme exemple l'éclairage public de Grenoble; la ville entière est éclairée d'une manière très satisfaisante par près de 300 lampes de ce système

TABLEAU II.

RÉGIMES PRATIQUES DES LAMPES ARC A FLAMME EUROPÉENNES SUR RÉSEAUX A 110-120 VOLTS
(RHÉOSTATS COMPRIS).

[Voltage, consommation totale apparente ⁽¹⁾, diamètre et usure des charbons, rendements lumineux et durées de marche.]

Type vertical *carbo-minéral* ⁽²⁾.

Consommation			Diamètre des charbons		Usure horaire par charbon.	Flux lumineux en lumens décimaux.	Intensité lumineuse. Bougies décimales à feu nu.	Durées usuelles.	
Ampères.	Volts à la lampe.	Watts avec rhéostat.	minéralisé.	ordinaire à mèche.				Grande lampe charbons de 360 mm.	Petite lampe charbons de 220 mm.

COURANT CONTINU.

Lampes en tension par deux sous 110 volts.

4....	44	220	{ 9	6	20 }	8400	1350	16-18 h	8-10 h
			{ 10	6	20 }				
5....	44	275	{ 13	8,5	17 }	11000	1750	16-18 h	8-10 h
			{ 12	8	21 }				
6....	43	330	{ 14	9	17 }	13000	2100	16-18 h	8-10 h
			{ 13	8,5	19 }				
			{ 12	8	24 }				
7....	41	385	{ 14	9	18 }	15500	2500	16-18 h	8-10 h
			{ 13	8,5	20 }				
			{ 12	8	26 }				

Lampes en tension par trois sous 110 volts.

6....	34	220	{ 14	9	14 }	9000	1450	16-18 h	8-10 h
			{ 13	8,5	16 }				
			{ 12	8	19 }				
			{ 11	8	21 }				
7....	34	260	{ 14	9	16 }	10500	1700	16-18 h	8-10 h
			{ 13	8,5	18 }				
			{ 12	8	22 }				

fonctionnant sur courant alternatif avec une dépense d'environ 360 watts par lampe. D'une manière générale, on doit employer des régimes un peu plus forts avec les courants alternatifs qu'avec les courants continus pour obtenir le maximum de rendement.

⁽¹⁾ C'est-à-dire le produit du courant par le voltage du réseau, divisé par le nombre des lampes en série. Avec les courants alternatifs, ce chiffre est supérieur à la consommation réelle, parce qu'il ne tient pas compte du facteur de puissance, compris entre 0,75 et 0,90 et plus faible qu'avec des charbons à mèche ordinaire.

⁽²⁾ D'après les chiffres pratiques des constructeurs français.

TABLEAU II (suite).

RÉGIMES PRATIQUES DES LAMPES ARC A FLAMME EUROPÉENNES SUR RÉSEAUX A 110-120 VOLTS
(RÉOSTATS COMPRIS).

[Voltage, consommation totale apparente ⁽¹⁾, diamètre et usure des charbons, rendement lumineux et durées de marche.]

Type vertical *carbo-minéral* ⁽²⁾.

Consommation			Diamètre des charbons		Usure horaire par charbon.	Flux lumineux en lumens décimaux.	Intensité lumineuse. Bougies décimales à feu nu.	Durées usuelles.	
Ampères.	Volts à la lampe.	Watts avec rhéostat.	minéralisé.	ordinaire à mèche.				Grande lampe charbons de 360 mm.	Petite lampe charbons de 220 mm.

COURANT CONTINU (suite).

Lampes en tension par trois sous 110 volts.

8....	33	300	{ 14	9	18 }	12000	1900	16-18 h	8-10 h
			{ 13	8,5	20 }				
			{ 12	8	25 }				

Lampes en tension par quatre sous 110-120 volts.

10....	27	275	{ 14	9	18 }	12000	1900	16-18 h	8-10 h
			{ 13	8,5	20 }				
12....	27	330	{ 14	9	20 }	14500	2300	16-18 h	8-10 h
			{ 13	8,5	22 }				
16....	27	440	{ 15	10	19 }	19000	3000	16-18 h	8-10 h
			{ 14	9	21 }				
			{ 13	8,5	24 }				

COURANT ALTERNATIF.

8....	30 à 32	300	{ 11	10	18 }	7000	1100	16-18 h	8-10 h
			{ 10	9	20 }				
10....	30 à 32	370	{ 12	10,5	18 }	10000	1600	16-18 h	8-10 h
			{ 11	10	21 }				
12....	30 à 32	440	13	11	19	12000	1900	16-18 h	8-10 h
13....	30	550	{ 14	12	19 }	15500	2500	16-18 h	8-10 h
			{ 13	11	22 }				
18....	30	660	{ 15	13,5	19 }	18500	3000	16-18 h	8-10 h
			{ 14	12	21 }				

⁽¹⁾ C'est-à-dire le produit du courant par le voltage du réseau, divisé par le nombre des lampes en série. Avec les courants alternatifs, ce chiffre est supérieur à la consommation réelle, parce qu'il ne tient pas compte du facteur de puissance, compris entre 0,75 et 0,90 et plus faible qu'avec des charbons à mèche ordinaire.

⁽²⁾ D'après les chiffres pratiques des constructeurs français.

TABLEAU II (suite).

RÉGIMES PRATIQUES DES LAMPES ARC A FLAMME EUROPÉENNES SUR RÉSEAUX A 110-120 VOLTS
(RHÉOSTATS COMPRIS).

[Voltage, consommation totale apparente ⁽¹⁾, diamètre et usure des charbons, rendements lumineux et durées de marche.]

Type convergent en V, intensif (2).

Consommation			Diamètre des charbons		Intensité lumineuse, bougies décimales hémisphériques à feu nu (3).	Durées usuelles.		Intensité lumineuse d'un arc ordinaire de même ampérage.	
Ampères.	Volts à la lampe.	Watts avec rhéostat.	positifs.	negatifs.		Grande lampe, charbons de 600 mm.	Petite lampe, charbons de 300 mm.		
COURANT CONTINU.									
Lampes en série par deux sous 110 volts.									
6...	45	330	7	6	885	15	6	420	
Lampes en série par trois sous 110 volts.									
8...	45	440	8	7	1590	15	6	660	
Lampes en série par quatre sous 110-120 volts.									
10...	46	550	9	8	1920	16	7	900	
12...	47	660	10	9	3140	16	7	1200	
COURANT ALTERNATIF.									
8...	45	440	7	7	1060	15	6	350	
10...	45	550	8	8	1630	16	7	530	
12...	45	660	9	9	2210	16	7	700	
13...	46	825	10	10	2680	16	7	960	

⁽¹⁾ C'est-à-dire le produit du courant par le voltage du réseau, divisé par le nombre des lampes en série. Avec les courants alternatifs, ce chiffre est supérieur à la consommation réelle, parce qu'il ne tient pas compte du facteur de puissance, compris entre 0,75 et 0,90 et plus faible qu'avec des charbons à mèche ordinaire,

⁽²⁾ D'après la moyenne de la fabrication allemande et notamment d'après les chiffres du Dr B. Monasch (de la Société A. E. G.) dans son excellent Livre *Elektrische Beleuchtung*. On peut consulter aussi sur le même sujet l'intéressant Ouvrage encyclopédique *Das Bogenlicht* de Biegen von Czudnochowsky.

⁽³⁾ Les chiffres de puissance des lampes allemandes exprimés en hefners ont été transformés en bougies décimales en les multipliant par le coefficient 0,885 anciennement admis; ce dernier serait peut-être à remplacer par 0,915 d'après les dernières comparaisons de MM. Perot et Laporte.

» Parmi les essais les plus complets et les plus intéressants pour la pratique industrielle qui aient été faits sur les lampes à arc carbo-minéral, il convient de citer ceux du Laboratoire photométrique de l'usine électrique municipale des Halles (¹).

» Ces essais ont été contrôlés par des relevés faits, pendant plusieurs mois, sur des lampes en service courant sur les voies publiques. Je regrette de ne pouvoir les rapporter en détail, mais il est intéressant de signaler tout au moins quelques résultats numériques :

» Les arcs carbo-minéraux à courant continu, pour des courants variant de 6 à 8 ampères et des tensions variant de 27 à 33 volts, ont donné des flux lumineux Φ représentés en fonction de l'intensité I et du voltage V par la formule empirique

$$\Phi \text{ (lumens)} = (34,3I + 610) V + 1550I - 25146.$$

» Par exemple, au régime moyen de 7 ampères 33 volts, correspondant environ à 230 watts, le flux lumineux obtenu en moyenne a été de 13750 lumens (intensité moyenne sphérique 10900 bougies); ce résultat est remarquable en comparaison de la petite puissance dépensée, d'autant plus que l'écart des charbons à 30 volts est faible et qu'on obtient une consommation spécifique encore plus faible à 40 ou 45 volts, comme on l'a vu plus haut.

» Avec des courants alternatifs, pour des intensités comprises entre 12,5 et 16,5 ampères et des voltages compris entre 28 et 36 volts, le même Laboratoire a trouvé des flux lumineux représentés par la formule

$$\Phi = (222,5I - 1873,5) V - 4460I + 45809.$$

» Par exemple, au régime moyen de 14 ampères 30 volts qui correspond sensiblement à 400 watts réels, le flux est d'environ 20000 lumens (intensité moyenne sphérique 15900 bougies). C'est sensiblement ce régime qui est réalisé dans les 80 lampes que la Ville de Paris a récemment installées pour l'éclairage de l'avenue de l'Opéra, sur courant alternatif à la fréquence 88; l'éclairage ainsi obtenu avec une faible dépense d'énergie est vraiment très satisfaisant.

(¹) Service de M. Girard sous la direction de M. Lauriol, ingénieur en chef.

» Enfin, un autre Tableau (Tableau III) résume plus généralement les résultats obtenus par divers expérimentateurs pour toutes les principales espèces de lampes à arc; bien qu'en photométrie on ne puisse jamais garantir une identité entre les étalons et les coefficients d'appréciations de plusieurs personnes, ce Tableau permet de juger approximativement les mérites relatifs de ces lampes, au point de vue du rendement lumineux et de la durée. On voit ainsi que les arcs à flamme, au calcium, ont des consommations comprises entre 0,10 et 0,25 watt par bougie hefner, c'est-à-dire environ quatre à cinq fois moins que les arcs correspondants entre charbon pur, et deux à trois fois moins que les arcs au mercure; ceux-ci, il est vrai, d'après Cooper-Hewitt, ne consommeraient que 0,33 à 0,34 avec des précautions spéciales. Mais, pratiquement, en tenant compte des 30 volts qu'il faut perdre dans le rhéostat, on atteint 0,45.

TABLEAU III.

COMPARAISON APPROXIMATIVE DES DIFFÉRENTES ESPÈCES D'ARC. —
INTENSITÉS LUMINEUSES ET CONSOMMATIONS SOUS 110 VOLTS.

Type de lampe.	Ampères.	Volts.	Watts		Intensité moyenne hémisphérique.	Consommation spécifique		Usure horaire de l'électrode minéralisée.
			utiles.	totaux.		absolue.	pratique ⁽¹⁾ sous 110 volts.	
I. — <i>Courants continus.</i>								
Lampe ordinaire à charbons purs ⁽²⁾ .	9	40	360	495	700	0,514	0,710	14 à 16 mm
Lampe ordinaire à charbons purs (par 3) ⁽²⁾	9	35	315	330	540	0,583	»	14 à 16 —
Lampe à flamme à charbons à mèche verticaux ⁽²⁾	9	40	360	495	910	0,396	0,610	27,5 —
Lampe à flamme <i>intensive</i> à charbons à mèche convergents ⁽²⁾ ...	9	45	405	495	2000	0,202	0,247	34 à 42,5 —
Lampes enfermées américaines ⁽²⁾ .	6,8	70	476	768	329	1,45	2,334	1,5 à 2 —

⁽¹⁾ C'est-à-dire obtenue en divisant le voltage 110 volts par le nombre de lampes en série.

⁽²⁾ D'après la Conférence de M. Zeidler, Ingénieur de l'Allgemeine Elektrizitäts Gesellschaft devant l'Elektrotechnischer Verein de Berlin, 23 décembre 1902.

⁽³⁾ D'après M. Mathews, *deuxième Rapport*, p. 30 à 32, et *troisième Rapport*, p. 17.

TABLEAU III (suite).

COMPARAISON APPROXIMATIVE DES DIFFÉRENTES ESPÈCES D'ARC. —
INTENSITÉS LUMINEUSES ET CONSOMMATIONS SOUS 110 VOLTS.

Type de lampe.	Ampères.	Volts.	Watts		Intensité moyenne hémi- sphérique.	Consommation spécifique		Usure horaire de l'électrode minéralisée.
			utiles.	totaux.		absolue.	pratique (1) sous 110 volts.	
I. — Courants continus.								
Lampe à la <i>magnétite</i> (2).....	3,5	91	320	385	400(?)	0,800	0,962	1 à 2 mm
Lampe Bremer (9 amp.) (3).....	9	48	412	495	4814	0,131	0,143	35 à 45 —
Lampe <i>carbo-minérale</i> (9 amp.) (4).....	9,1	43	391,3	500	4800	0,081	0,103	16 à 20 —
Lampe <i>carbo-minérale</i> (5 amp.) (5).....	5,12	51,6	241,2	282	2210	0,109	0,128	16 à 20 —
Lampe <i>carbo-minérale</i> (3 amp.) (6).....	2,99	57,4	171,5	165	1339	0,128	0,124	18 à 20 —
Arc au mercure (7).....	3,5	80	280	385	770	0,362	0,50	» —
Arc au ferro-titane (8).....	,5	48,3	169	385	700	0,242	0,55	1 à 2 —
Arc lumineux entre charbons purs (lampe Carbone) (9).....	10	90	90	110	1070	0,82	0,98	18 à 20 —
II. — Courants alternatifs.								
Lampe ordinaire à charbons non mi- néralisés.....	9	30	270	330	350	0,772	0,945	15 à 16 —
Lampe ordinaire à charbons purs à mèche (9).....	15	35	480	555	470	1,02	1,18	15 à 16 —

(¹) C'est-à-dire obtenue en divisant le voltage 110 volts par le nombre de lampes en série.

(²) Chiffres hypothétiques d'après une Communication de M. W. Holmes, *E. W. and E.*, 28 mai 1904.

(³) D'après M. W. Biegen von Czudnochowski (*Vertrag der deutschen physikalischen Gesellschaft*, 1903, n° 7). Voir aussi *Das Elektrische Bogenlicht* du même auteur.

Ces chiffres se rapportent à des diamètres de charbons pratiques au lieu des diamètres 8 et 7 mm des lampes essayées par M. Wedding, dont l'usure était excessive en comparaison des autres lampes.

(⁴) Essais du Laboratoire de la Société Auer de Paris.

(⁵) D'après les essais du professeur Wedding.

(⁶) D'après les Notices de la Compagnie Westinghouse, et en supposant 30 volts perdus dans le rhéostat et 80 pour 100 de la lumière hémisphérique supérieure récupérée par réflexion.

(⁷) D'après M. Ladoff (*loc. cit.*), qui indique 510 bougies moyennes sphériques et en supposant qu'on récupère par un réflecteur la moitié des rayons envoyés au-dessus de l'horizon. Mais le même auteur estime pouvoir maintenir aux bornes un voltage plus élevé, par exemple 65-70 volts; ce qui réduirait la consommation à environ 0,45.

(⁸) D'après B. Monasch, *Elektrische Beleuchtung*, p. 179.

(⁹) Essais du Laboratoire central d'Électricité de Paris.

TABLEAU III (suite).

COMPARAISON APPROXIMATIVE DES DIFFÉRENTES ESPÈCES D'ARC. —
INTENSITÉS LUMINEUSES ET CONSOMMATIONS SOUS 110 VOLTS.

Type de lampe.	Ampères.	Volts.	Watts		Intensité moyenne hémisphérique.	Consommation spécifique		Usure horaire de l'électrode minéralisée.
			utiles.	totaux.		absolue.	pratique (1) sous 110 volts.	
II. — Courants alternatifs.								
Lampe à flamme à charbons ver- ticaux	9	30	270	330	700	0,386	0,471	30 mm
Lampe à flamme à charbons con- vergents	9	45	405	495	2000	0,202	0,247	35 à 45 —
Lampe enfermée (1)	6,6	70	482	726	314	1,535	2,312	1 à 2 —
Lampe Bremer (2)	9	48	»	»	»	0,131	0,143	35 à 45 —
Lampe carbo-minérale (4)	10	35	255 (réels)	370	1890	0,135	0,174	15 à 20 —
Lampe carbo-minérale (par 3) (5).	8	33	225 (réels)	272 (réels)	1000	0,225	0,272	15 à 20 —

» Répartition et utilisation de la lumière des arcs à flamme (6). —
Les courbes reproduites ci-après permettent de constater la différence qualitative importante qui existe entre les lois de répartitions de la lumière obtenues par les différents arcs à flamme et par l'arc ordinaire. Tandis que l'arc ordinaire se comporte comme un disque incandescent (cratère), occulté partiellement par le négatif, l'arc à flamme, type carbo-minéral, obtenu entre charbons verticaux forte-

(1) C'est-à-dire obtenue en divisant le voltage 110 volts par le nombre de lampes en série.

(2) D'après M. Mathews, *deuxième Rapport*, p. 30 à 32, et *troisième Rapport*, p. 17.

(3) Chiffres hypothétiques supposés d'après la comparaison faite par M. Wedding (*loc. cit.*) qui trouve même rendement pour les deux espèces de courants.

(4) Essais du Laboratoire central d'Électricité de Paris.

(5) Essais du Laboratoire de la Société Auer de Paris.

(6) Toutes ces courbes sont empruntées de préférence à des laboratoires officiels, plutôt qu'au mien, pour leur donner un caractère plus impersonnel.

Les courbes des figures 9 et 10 ont été obtenues par le professeur Wedding au laboratoire de l'École Polytechnique de Charlottenbourg. La figure 2 a été relevée par M. le Dr Sharp à l'Electrical Testing Laboratory de New-York. Les figures 12 et 13 proviennent du laboratoire central d'Électricité dirigé par MM. Janet et Laporte; seule, la figure 14, reproduite d'après M. Ladoff, provient d'essais d'un laboratoire américain privé.

ment minéralisés, avec positif en bas, se comporte comme un cylindre lumineux vertical placé au-dessous d'un disque diffuseur d'un très bon rendement éclairé par la flamme et par le point brillant de l'électrode inférieure; l'occultation est très faible par suite de la longueur de l'arc. Il n'y a donc plus de taches d'ombre au-dessous du globe, ni de réduction très grande de la lumière vers

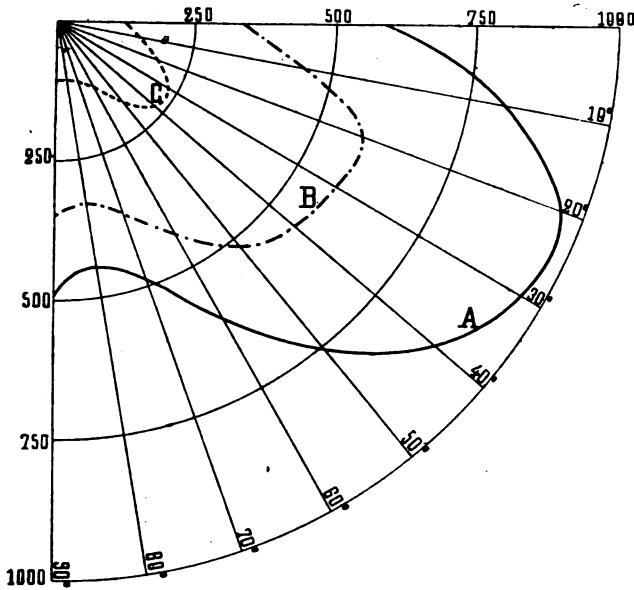


Fig. 12. — Courbes sous globes opalins de deux arcs *carbo-minéraux*, de 5 ampères (A) sous 43 volts, (B) sous 35 volts et d'un arc à courant continu (C) de 5 ampères sous 38 volts, charbons 8 et 12 mm. Intensités moyennes sphériques en bougies : A = 560, B = 345, C = 118. Intensité hémisphérique : A = 800, B = 495, C = 174. (Essai du Laboratoire central d'électricité sur une lampe Bardon.)

l'horizon; la répartition est beaucoup plus favorable pour l'éclairage des grands espaces. On peut d'ailleurs la modifier dans une large mesure avec ce type de lampe en modifiant la forme du réflecteur qui entoure l'économiseur; en le faisant conique, on augmente beaucoup la lumière projetée au pied de la lampe, et on lui donne des propriétés analogues à celles des lampes à arc en V dites *intensives*.

» Ces dernières sont beaucoup moins favorables pour l'éclairage des grandes places, parce que l'arc est enfermé dans un économiseur profond, et elles se prêtent surtout à l'éclairage intensif des objets situés au-dessous, dans un angle de 45° avec la verticale. C'est pourquoi à Berlin, par exemple, pour l'éclairage public, on a

été obligé de suspendre ces lampes à des hauteurs extraordinaires, rappelant celles des anciennes lampes de la place du Carrousel; il faut alors employer de véritables pylônes et des lampes de très grande puissance, en petit nombre; au contraire, notre idéal en France est d'employer un grand nombre de foyers moins puissants, plus bas et plus rapprochés; je crois que c'est nous qui avons raison.

» Les lampes en V présentent cette particularité, d'ailleurs peu grave, qu'elles donnent lieu, en plan, à une répartition de lumière dissymétrique, l'arc étalé entre les pointes des charbons ayant son maximum d'émission dans le plan perpendiculaire.

» Les chiffres des Tableaux II et III se rapportent aux arcs nus, pour éviter toute erreur de comparaison, mais les courbes reproduites ont été obtenues les unes à arc nu, les autres avec globe. On remarquera ainsi que l'addition de globes autour des arcs modifie d'une manière importante la répartition et le rendement, par leur forme et leur pouvoir absorbant (¹). Les globes, surtout les œufs tels que celui de la figure 6, augmentent la proportion de lumière envoyée vers l'horizon. C'est pourquoi, par exemple, la répartition pratique des lampes carbo-minérales sous globe (*fig. 12 et 13*) est franchement plus avantageuse pour l'éclairage public que celle de l'arc ordinaire (²) ou de l'arc intensif à flamme (*fig. 9*) (³) et

(¹) Quant à l'absorption produite par le globe opalin, elle dépend beaucoup de sa nature, car chaque globe absorbe par sélection : les globes opales bleuâtres par transparence, fabriqués au spath ou à la cryolithe, absorbent plus les rayons au calcium que les opalins au phosphate de chaux qui paraissent jaunes par transmission; c'est l'inverse qui a lieu pour les arcs blancs bleuâtres à la magnétite ou au titane; l'absorption excessive par le globe, dans les essais de la figure 2, provient précisément d'un mauvais choix du verre.

(²) L'arc au carbone donne un maximum de lumière très accusé vers 40°-45° au-dessous de l'horizon, c'est-à-dire sur le sol à une distance égale à la hauteur de la lampe; ce maximum, avec l'arc carbo-minéral, a lieu vers l'angle de 20° à 30°, c'est-à-dire à une distance de deux à trois fois la hauteur, et la variation d'intensité entre cette direction et celle de l'horizon ne dépasse pas 40 pour 100.

L'arc en vase clos américain donne un maximum à peu près dans la même direction mais il envoie trop de lumière vers l'horizon ou au-dessus, au détriment de l'éclairage dans la zone voisine du pied du candélabre.

(³) La lampe intensive présente une excessive concentration suivant la verticale (*fig. 9*); la présence d'un globe lumineux, il est vrai, donne une répartition à peu près uniforme jusqu'à l'angle de 40° avec la verticale (50° au-dessous de l'horizon) avec une intensité double de l'intensité envoyée à l'horizon, mais il y a ainsi trop de lumière au voisinage immédiat du candélabre et pas assez à la distance double de la hauteur.

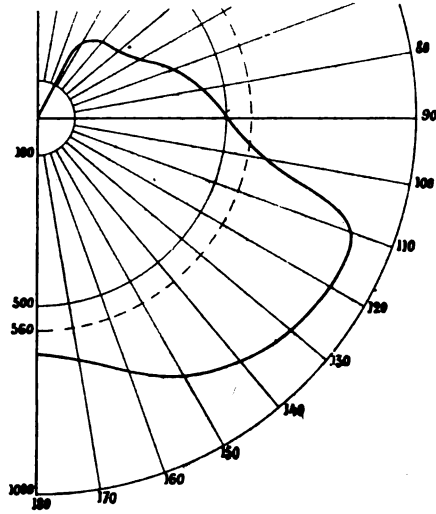


Fig. 13. — Courbe sous globe opalin d'un arc *carbo-minéral* à courants alternatifs sur transformateur charbons de 12 et 12,5 mm environ. (Essai du Laboratoire central d'électricité sur une lampe Bardon.)

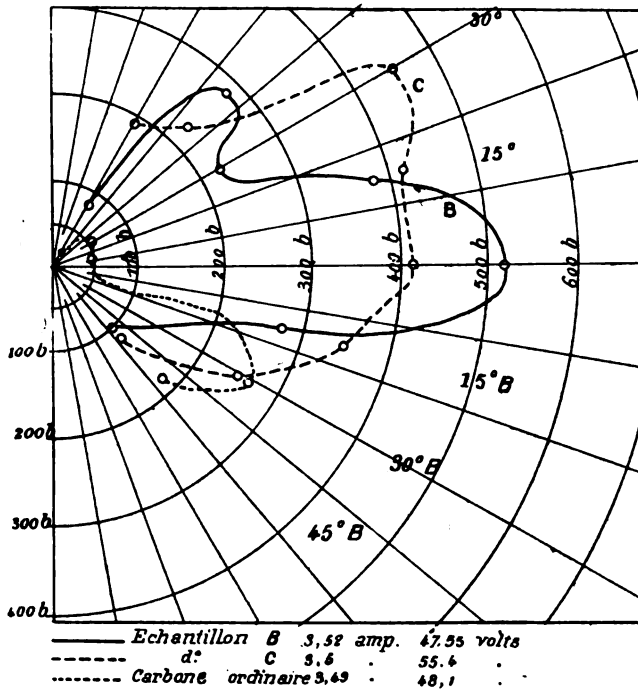


Fig. 14. — Courbes à fou nu d'arcs de 3,5 ampères avec positif au titane, (B) ferro-titane sous 47,5 volts, (C) rutile-magnétite sous 55,4 volts. La courbe pointillée se rapporte à l'arc ordinaire de 3,5 ampères en vase clos. Intensités sphériques moyennes : B = 510, C = 283; vase clos : 84 bougies.

même que celle de l'arc à flamme au ferro-titane (*fig. 14*) (¹).

» On remarquera aussi que la distribution de la lumière au-dessous de l'horizon est à peu près la même pour l'arc alternatif que pour l'arc à courant continu, grâce au rôle prépondérant que jouent, dans la loi de distribution, la flamme, le réflecteur qui la surmonte et le globe qui l'entoure.

CONCLUSIONS.

» En résumé, d'après les comparaisons précédentes, les arcs à flamme ont un très haut rendement, 3 à 5 fois celui des arcs au carbone qu'ils sont destinés à remplacer (les arcs nus en Europe étant remplacés par les arcs au calcium, les arcs enfermés aux États-Unis remplacés par les arcs au fer-titane). Ils ont une teinte favorable, à laquelle on s'habituera de plus en plus, d'autant mieux qu'elle se rapproche de celle des manchons à gaz. Par contre, ils ont l'inconvénient de donner quelques flottements de lumière, des fumées, des cendres et des vapeurs nitreuses; mais ces inconvénients sont de mieux en mieux évités, comme on l'a vu; ils exigent des régulateurs spéciaux plus puissants et, par suite, plus chers que ceux des lampes ordinaires, et des charbons plus chers et s'usant plus vite. Mais ces sujétions sont compensées dans une large mesure si l'on remplace des lampes à flamme ordinaire d'une certaine puissance par des lampes à flamme de puissance plus petite consommant un moindre volume de charbon et une moindre quantité d'énergie. C'est pourquoi le véritable intérêt des arcs à flamme doit être cherché dans la réalisation d'arcs de puissance moyenne consommant 200 à 300 watts, plutôt que dans celle d'arcs de très grande puissance; il vaut mieux, si l'on veut avoir beaucoup de lumière, multiplier le nombre des foyers que l'intensité individuelle de chacun. Quant aux différents arcs à flamme, le choix entre eux dépend un peu du goût individuel de chacun; pour le moment, l'arc au calcium a un avantage incontesté de rende-

(¹) La courbe de l'arc ferro-titane (d'après M. Ladoff) donne une prédominance excessive aux rayons envoyés vers l'horizon ou au-dessus de l'horizon, de sorte que le rendement de l'éclairage doit être médiocre, si l'on n'ajoute pas de grands réflecteurs extérieurs.

ment et de bon fonctionnement; les électrodes homogènes (Bremer) et les charbons dizones sont supérieurs, comme rendement et durée, aux charbons à mèche et aux électrodes au titane. Enfin, le type à charbons placés l'un au-dessus de l'autre (carbo-minéral, magnétite, etc.) paraît supérieur au type en V, qui est plus compliqué de mécanisme et qui exige des charbons extrêmement longs et fragiles.

» Pour ne pas allonger trop cette Note, je n'ai pas fait de comparaison du prix d'entretien complet de l'éclairage par les arcs à flamme avec les arcs ordinaires, en tenant compte du prix des charbons et de l'entretien, qui sont notablement plus élevés qu'avec l'arc ordinaire; d'ailleurs, ce travail de comparaison a déjà été fait en Europe, par M. Monasch ⁽¹⁾ et aux États-Unis, par M. Marks, inventeur bien connu de la Société ⁽²⁾. Le premier a conclu à la supériorité économique de l'arc à flamme, grâce au prix élevé de l'énergie et au faible prix de la main-d'œuvre en Europe; aux États-Unis, au contraire, les conditions sont renversées parce que tout propriétaire d'un arc a une répugnance spéciale à faire lui-même le nettoyage des lampes et le remplacement des charbons, et se croit obligé de faire appel à une main-d'œuvre salariée, qui coûte fort cher; l'arc à la magnétite ou au ferro-titane, qui en Europe ne présente pas d'intérêt, faute d'un rendement assez élevé, peut donc être apprécié de l'autre côté de l'Atlantique, à cause de sa longue durée de fonctionnement. Mais les arcs à flamme européens ont néanmoins très bien réussi là-bas pour les éclairages extérieurs de magasins à cause de leur bien plus grande intensité lumineuse.

» Une conclusion que nous pouvons dégager en tous cas, et qui est particulièrement intéressante pour les électriciens, c'est que l'arc à flamme constitue actuellement la source de lumière la plus économique, pour l'éclairage des grands espaces, et l'emporte même sur les becs à gaz intensifs, ainsi qu'il résulte du Tableau ci-joint; celui-ci résume en chiffres ronds la comparaison, avec nos prix ordinaires moyens du gaz (0,20 fr le m³) et de l'électricité (0,70 fr le kilowattheure). On voit aussi d'après les valeurs approximatives de la chaleur dégagée la supériorité de l'arc.

⁽¹⁾ *Elektrische Beleuchtung*, par Monasch.

⁽²⁾ *The flaming carbon arc lamps*. Nat. El. light ass., juin 1906.

TABLEAU IV.

COMPARAISON ENTRE LES GROS FOYERS A INCANDESCENCE PAR LE GAZ ET LES ARCS ÉLECTRIQUES
DE MÊME PUISSANCE

(gaz à 0,20 fr le m³, électricité à 0,70 fr le kilowattheure).

	Intensité lumineuse		Consommation horaire (litres et kilowattheures).	Dépense horaire (centimes).	Chaleur dégagée (calories par heure).	Dépense sphérique de l'hectopyr (centimes par 100 bougies).
	horizontale.	moyenne sphérique.				
Incandescence par le gaz						
bec intensif.	575	400	620 l	12,4	3200	3,1
Arc ordinaire à courant continu.		1200	600 kwh	42	380	3,5
Arc ordinaire à courant alternatif.		600	600	42	380	7,0
Arc carbo-minéral à cou- rant continu.		1200	200	14	130	1,17
Arc carbo-minéral a cou- rant alternatif.		1200	300	21	200	1,75

La supériorité de l'arc est encore plus accusée avec un prix d'énergie inférieur à 0,70 fr, c'est-à-dire dans un grand nombre de villes ou d'installations françaises.

» L'éclairage au gaz ne peut donc plus être considéré comme tenant la tête du progrès, malgré ce que croyaient encore récemment ses partisans. C'est sur cette constatation que j'aime à terminer cette Communication. »

LISTE DES OUVRAGES

OFFERTS A LA SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ÉLECTRICIENS.

(Suite.)

La Bibliothèque est ouverte aux Membres de la Société, tous les jours
de 2 heures à 5 heures, excepté les dimanches et jours de fêtes,
12, rue de Staël.

France.

- Annuaire français du gaz, de l'acétylène et de l'électricité*, par Édouard BENATRE. 2^e année, 1907. Paris, Imp. Sarger et chez l'auteur, 83, rue Monge, 1 vol. in-16, cartonné. (*Don de l'auteur.*)
- Commutatrices et transformateurs électriques tournants*, par Jean PARAF. Paris, Gauthier-Villars et Masson et C^{ie}, [s. d.], 1907; 1 vol. petit in-8, broché. (*Encyclopédie des Aide-Mémoire scientifiques*). (*Don de M. Gauthier-Villars.*)
- Construction des induits à courant continu. L'arbre et ses tourillons*, par E.-J. BRUNSWICK et M. ALIAMET. Paris, Gauthier-Villars et Masson et C^{ie}, [s. d.], 1907; 1 vol. petit in-8 broché. (*Encyclopédie des Aide-Mémoire scientifiques*). (*Don de M. Gauthier-Villars.*)
- Coût (Le) de la force motrice. L'homme, le cheval, le bœuf, le moteur électrique, le labourage électrique, la force motrice au Pérou et à Lima*, par Émile GUARINI. Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1907; 1 brochure in-8. (*Don des éditeurs.*)
- Forces (Les) hydrauliques et les applications électriques au Pérou. Mon voyage au sud du pays*, par Émile GUARINI. Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1907; 1 brochure in-8. (*Don des éditeurs.*)
- Formules, Tables et renseignements usuels. Aide-Mémoire des ingénieurs, des architectes, etc. Partie pratique*, par J. CLAUDEL. 11^e édition entièrement refondue, sous la direction de G. DARIÈS. T. I. Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1907; 1 vol. in-8 broché. (*Don des éditeurs.*)
- Notes et formules de l'ingénieur et du constructeur mécanicien*, par Ch. VIGREUX, Ch. MILANDRE et R. P. BOUQUET. 15^e édition, revue et considéra-

blement augmentée. Paris, E. Bernard, 1907; 1 vol. in-16, cartonné.
(*Don de l'éditeur.*)

Prix de revient et prix de vente de l'énergie électrique, suivi d'un essai de tarification rationnelle, par Gustave SIEGEL. Traduit de l'allemand par Robert ELLISSEN et E. ALLAIN-LAUNAY. Paris, Ch. Béranger, 1907; 1 vol. in-8, relié toile. (*Don de l'éditeur.*)



BULLETIN
DE LA
SOCIÉTÉ INTERNATIONALE
DES
ÉLECTRICIENS.

SOMMAIRE.

Admission de Membres titulaires, p. 290. — Don au Laboratoire, p. 290. — Sur les électrons (M. H. Becquerel), p. 291. — Loi de l'attraction magnétique à distance et ses applications (M. R.-V. Picou), p. 307.

INSGNE DE LA SOCIÉTÉ, p. 290.

BIBLIOGRAPHIE, p. 320.

OUVRAGES OFFERTS, p. 324.

COMPTE RENDU

DE LA

RÉUNION ORDINAIRE MENSUELLE

du mercredi 1^{er} mai 1907 ⁽¹⁾.

PRÉSIDENCE DE M. H. BECQUEREL, PRÉSIDENT.

La séance est ouverte à 8^h35^m du soir.

Le procès-verbal de l'Assemblée générale et de la Réunion mensuelle du 10 avril dernier est adopté.

Il est donné connaissance des Ouvrages offerts et des demandes d'admission suivantes :

(¹) La Société n'est pas solidaire des opinions émises par ses membres dans les discussions, ni responsable des Notes ou Mémoires publiés dans le *Bulletin*.

MM.

Charne (Justin-Etienne-Henri), Ingénieur E. C. P. Directeur-Propriétaire de l'*Usine électrique du Moulin-des-Malades*, Moulin-des-Malades, par Orchamps (Jura). — Présenté par MM. Armagnat et Sabourain.

Delasalle (André-Paul-Louis), ancien Élève de l'*École de Physique et Chimie*, Ingénieur, Agent général pour le *Sud-Ouest* de la *Compagnie française* et de la *Société des Ateliers Thomson-Houston*, 116, rue David-Johnston, à Bordeaux. — Présenté par MM. Rechniewski et Gratzmuller.

Ferré (Ferdinand-Louis-Ernest), Chef d'usine au *Sud électrique*; villa des Lilas, à Saint-Véran-Avignon (Vaucluse). — Présenté par MM. Jacobsen et Nougier.

Girardin (Marc), Chef-Monteur à la *Compagnie française Thomson-Houston, usine électrique à Arles* (Bouches-du-Rhône). — Présenté par MM. Meunier et Vaquer.

Guillaume (Pierre-Antonin), Ingénieur à la *Compagnie Thomson-Houston, Ateliers de Neuilly-sur-Marne*, 183, avenue de Bry, au Perreux (Seine). — Présenté par MM. Abal et Gaucharaud.

Jouvion (Marie-Henri), Licencié ès sciences, 87, rue Denfert-Rochereau, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Labroue (Edouard), Administrateur-Délégué de la *Compagnie générale électrique du Sud-Ouest*, Ingénieur-Électricien, Licencié ès sciences, 21, rue de Mulhouse, à Bordeaux (Gironde). — Présenté par MM. Armagnat et Sabourain.

Martin (René-Jean-Marie), Ingénieur des Arts et Manufactures, Représentant des *Ateliers Thomson-Houston à la General electric Co*, 8, Union Street (Schenectady), à New-York (U. S. A.). — Présenté par MM. Creighton et Testard.

Romeyn (Hendrik-Adrian), Professeur à une *École électrotechnique professionnelle*, Frâns van Mierisstraat, 64, à Amsterdam (Pays-Bas). — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Ces candidats sont élus membres titulaires de la Société internationale des Électriciens.

Des remerciements sont adressés à la Société technique de l'Industrie du gaz en France qui a fait don d'une somme de 400 fr. au Laboratoire de la Société.

M. le SECRÉTAIRE GÉNÉRAL annonce que le Comité a fait établir un insigne en argent pour permettre aux Membres de la Société de se faire reconnaître dans le cas de visites collectives et de réceptions. Cet insigne sera envoyé à tout Membre de la Société qui en fera la demande au Secrétariat, 14, rue de Staël, en joignant un mandat de 5 fr. au nom du Trésorier.

M. le PRÉSIDENT ayant remercié la Société de l'honneur qu'elle lui a fait en l'élevant à la présidence, l'ordre du jour appelle les Communications techniques.

SUR LES ÉLECTRONS ⁽¹⁾.

M. BECQUEREL. — « Messieurs et chers Collègues, pour répondre au désir exprimé par notre Secrétaire général, je vous parlerai d'une question théorique qui domine les préoccupations des savants dont la pensée cherche à pénétrer le mécanisme des phénomènes électriques et lumineux, phénomènes qui ont entre eux une corrélation intime.

» La conception des électrons, après s'être imposée par l'observation des décharges électriques dans les gaz raréfiés, s'est merveilleusement adaptée à l'interprétation d'un grand nombre de phénomènes. Je citerai en particulier tous les phénomènes électro-optiques, les manifestations du rayonnement des corps radioactifs, et la conductibilité électrique.

» Mon intention est de vous entretenir de quelques-unes des principales déterminations expérimentales qui ont permis d'assigner des valeurs numériques aux grandeurs qui dérivent de cette hypothèse.

RAYONS CATHODIQUES.

» L'intuition de Sir W. Crookes avait assimilé les décharges électriques observées d'abord par Plücker, puis par Hittorf, dans des tubes à peu près vides de gaz, à un bombardement de corpuscules radiants impondérables, lancés par la cathode, et déviables par un champ magnétique ou électrique. On a reconnu ensuite que le flux transporte des charges électriques négatives avec une vitesse que l'on peut déterminer, et qui est de l'ordre de grandeur de la vitesse de la lumière.

» Soient e la charge électrique d'un corpuscule animé de la vitesse v et m le rapport de la force à laquelle il est soumis à l'accélération qui résulte de cette force.

» On reconnaît facilement que, dans un champ magnétique uni-

(1) Durant cette Communication, le fauteuil de la présidence est occupé par M. Brylinski, vice-président.

forme d'intensité $\mathcal{H}$ faisant un angle α avec la tangente à la trajectoire du corpuscule, le rayon de courbure R de cette trajectoire est donné par la relation

$$(1) \quad R = \frac{m}{e} v \frac{1}{\mathcal{H} \sin \alpha}.$$

» D'autre part, dans un champ électrique uniforme dont l'intensité est F , la trajectoire est une parabole dont le paramètre p a pour valeur

$$(2) \quad p = \frac{m}{e} v^2 \frac{\sin^2 \alpha}{F}.$$

» Supposons d'abord que le coefficient m soit le même sous l'action des forces électriques et magnétiques, et qu'il soit indépendant de la vitesse. Nous pourrions le considérer comme représentant la *masse* de l'électron, et, en mesurant, soit séparément, soit simultanément, les déviations d'un même faisceau cathodique par un champ magnétique et par un champ électrique, on peut déduire des formules précédentes des valeurs de $\frac{e}{m}$ et de v .

» On peut encore avoir recours à d'autres phénomènes : par exemple mesurer la charge électrique Q transportée pendant un temps donné par un nombre N de corpuscules

$$(3) \quad Ne = Q.$$

» L'absorption totale du même faisceau par un écran opaque développe une quantité de chaleur W , dont l'expression en unités mécaniques peut être égale à la demi-force vive détruite

$$(4) \quad \frac{1}{2} Nm v^2 = W,$$

et ces deux dernières relations donnent le produit $\frac{m}{e} v^2$.

» Enfin, dans le champ électrique au voisinage de la cathode, le travail correspondant au déplacement de la charge e est lié à la différence de potentiel V par la relation

$$(5) \quad \frac{1}{2} m v^2 = Ve.$$

» Les mesures, effectuées au moyen des diverses méthodes qui résultent de l'observation des phénomènes et de l'application des

formules que nous venons de rappeler, ont conduit aux valeurs numériques résumées dans le Tableau suivant, et exprimées en unités électromagnétiques C.G.S. :

Nature des rayons.	Observateurs.	Méthodes.	$\frac{e}{m}$	v .	$\frac{m}{e} v$.
Rayons cathodiques	J.-J. Thomson 1897	Déviatiou magnétique et électrique.	$0,770 \cdot 10^7$	$0,270 \cdot 10^{10}$	351
Id.	Id. 1897	Déviatiou magnétique, phénomènes calorifiques.	$1,170 \cdot 10^7$	$0,270 \cdot 10^{10}$	231
Id.	Kaufmann 1899	Déviatiou magnétique et différence de potentiel.	$1,860 \cdot 10^7$	"	"
Id.	Simon 1899	Id.	$1,865 \cdot 10^7$	$\left. \begin{array}{l} 0,5 \cdot 10^{10} \\ \text{à } 0,7 \cdot 10^{10} \end{array} \right\}$	$\left. \begin{array}{l} 268 \\ 375 \end{array} \right\}$
Id.	Wiechert 1899	Déviatiou magnétique et vitesse des ions.	$1,260 \cdot 10^7$	"	"
Rayons de Lenard	Lenard 1898	Déviatiou magnétique et électrique.	$0,639 \cdot 10^7$	$0,727 \cdot 10^{10}$	1136
Id.	Id. 1898	Déviatiou électrique et retard dans un champ électrique.	$0,650 \cdot 10^7$	$0,754 \cdot 10^{10}$	1160
Lumière ultra-violette . . .	J.-J. Thomson 1899	Retard par un champ magnétique.	$0,730 \cdot 10^7$	"	"
Id.	Lenard 1900	Déviatiou magnétique et différence de potentiel.	$1,150 \cdot 10^7$	$0,330 \cdot 10^{10}$	287
Métaux incandescents . . .	J.-J. Thomson 1899	Retard dans un champ magnétique.	$0,870 \cdot 10^7$	"	"

» On voit que les vitesses varient entre le $\frac{1}{50}$ et le $\frac{1}{4}$ de la vitesse de la lumière ; les valeurs de $\frac{e}{m}$ varient relativement peu, quelle que soit la nature du gaz au milieu duquel se produisent les rayons étudiés.

RAYONS CANAUX.

» En 1886, M. Goldstein a reconnu que dans un tube à gaz raréfié, séparé en deux par une cathode percée de trous, alors que du côté de l'anode on observe des rayons cathodiques, il passe de l'autre côté, par les petits canaux de la cathode, des rayons très peu déviés par un champ magnétique intense, mais déviés en sens inverse des rayons cathodiques, et pouvant être considérés comme transportant des charges électriques positives.

» Ces rayons canaux semblent, comme l'a montré M. Villard, être le résultat d'un afflux qui, dans l'autre partie du tube, se dirige vers la cathode et entretient l'émission des rayons cathodiques.

» L'application aux rayons canaux des hypothèses et des formules mentionnées plus haut a conduit M. Wien, pour des rayons canaux passant les trous d'une cathode en fer, aux valeurs

$$\frac{e}{m} = 300, \quad v = 3,6 \cdot 10^7.$$

» D'autre part, pour les ions positifs émis par un fil de fer incandescent, M. J.-J. Thomson a trouvé la valeur $\frac{e}{m} = 400$.

» Dans un travail tout récent, le même savant a reconnu que les rayons canaux se divisent en plusieurs groupes, généralement au nombre de deux. Pour un vide relativement imparfait, ces groupes sont caractérisés par une vitesse bien déterminée, et diverses valeurs de $\frac{e}{m}$, qui ont un maximum égal à 10^4 pour un groupe, à $0,5 \cdot 10^4$ pour l'autre groupe, et à $0,25 \cdot 10^4$ lorsque le tube contient de l'hélium.

» Lorsque le vide est plus avancé, les rayons ne correspondent plus qu'aux deux valeurs limites de $\frac{e}{m}$, 10^4 , et $0,5 \cdot 10^4$, quelle que soit la nature des gaz encore présents dans les tubes.

» Ainsi, dans ces diverses expériences, les valeurs de $\frac{e}{m}$ et de v , relatives au transport des charges électriques positives, sont d'un ordre de grandeur tout différent des valeurs correspondantes pour les électrons négatifs.

» Les vitesses sont bien déterminées, ainsi que les rapports $\frac{e}{m}$, mais on est réduit à faire des hypothèses nouvelles sur les valeurs de m et de e .

» Je citerai seulement pour mémoire la production des rayons X aux points frappés par les rayons cathodiques, ainsi que d'autres espèces de rayons qui prennent naissance dans des conditions spéciales.

MESURE DE LA CHARGE e .

» Les expériences de condensation, par la détente des gaz, saturés de vapeur d'eau, provoquant la formation de gouttes sur les centres électrisés produits dans ces gaz par les divers procédés d'ionisation, ont fait voir que les ions positifs et négatifs étaient produits en même nombre, et portaient des charges électriques égales et de signe contraire.

» D'autre part, comme il est permis de penser que l'émission cathodique est le résultat d'une ionisation préalable du milieu ambiant, on peut admettre que les corpuscules emportent avec eux une charge e égale à celle qui a été libérée par l'ionisation. Une détermination directe de cette charge portée par les ions négatifs a donné à M. J.-J. Thomson la valeur 10^{-20} , très voisine de celle qu'on peut déduire de la charge transportée dans l'électrolyse par un atome d'hydrogène, en calculant, d'après la théorie cinétique des gaz, le nombre de molécules gazeuses dans un volume déterminé. On peut donc admettre que, dans les divers phénomènes que nous venons de passer en revue, la charge e est constante.

» Les diverses valeurs de $\frac{e}{m}$ seraient alors inversement proportionnelles aux masses des électrons. Dans le cas de l'électrolyse le rapport $\frac{e}{m}$ est voisin de 10^4 . Il est du même ordre de grandeur pour les ions positifs, mais il est mille fois plus grand pour les électrons négatifs, et l'on doit en conclure que la masse de l'électron est de l'ordre de grandeur du millièème de la masse de l'atome d'hydrogène.

RAYONNEMENT DES CORPS RADIOACTIFS.

» L'étude du rayonnement spontané des corps radioactifs a puissamment contribué à augmenter nos connaissances sur les propriétés des électrons. Rappelons d'abord que les corps radioactifs émettent de l'énergie sous trois formes : 1° Une très faible quantité de chaleur ; 2° Une émanation de nature gazeuse dont le dépôt provoque sur les corps une radioactivité temporaire ; 3° Un rayonnement composé de trois parties : un flux d'atomes chargés d'électricité positive, ou rayons α , identiques aux rayons canaux, un flux d'électrons chargés d'électricité négative, ou rayons β , identiques aux rayons cathodiques, et un rayonnement très pénétrant, ou rayons γ , assimilables aux rayons X.

» La figure ci-contre (*fig. 1*) montre la séparation, par un champ magnétique, des rayons α très peu déviabiles et des rayons β notablement déviés et dispersés. L'épreuve a été obtenue en coupant obliquement, par une plaque photographique, un faisceau linéaire de rayons émis par un sel de radium, et normal au champ magnétique.

Le faisceau de rayons α , très absorbable, et qu'une feuille de papier suffirait à arrêter, donne une impression bien plus intense que le faisceau de rayons β .

» *Rayons β .* — Un rayon β défini par une valeur de $\frac{e}{m}$ et de v , pénétrant normalement dans un champ magnétique uniforme d'intensité $\mathcal{H}$, décrit une trajectoire circulaire de rayon $R = \frac{m}{e} v \frac{1}{\mathcal{H}}$, et le produit $R\mathcal{H}$ peut servir à caractériser ce rayon.

» La dispersion du faisceau montre que le radium émet une infinité de radiations dont le produit $R\mathcal{H}$ est différent, et l'on peut profiter de cette dispersion pour étudier les propriétés de chacune d'elles, comme on le fait pour les différentes radiations lumineuses dispersées par un prisme réfringent.

» Le dispositif suivant donne des résultats particulièrement instructifs. La source est constituée par quelques grains d'un sel de radium, déposés au fond d'une rainure profonde faite dans un petit bloc de plomb. Elle émet ainsi verticalement un faisceau plan, sensiblement linéaire. En couvrant la fente par une lame mince d'aluminium de 0,01 mm. d'épaisseur, on arrête la lumière émise par le sel de radium, ainsi que les rayons α . On place alors la source dans un champ magnétique horizontal, uniforme, la fente étant parallèle au champ, et l'on reçoit le faisceau dévié, sur une plaque photographique verticale et normale au champ. Chaque rayon atteignant la plaque sous une incidence presque rasante, l'impression figure une trajectoire qui diffère très peu de la trajectoire circulaire d'un de ces rayons.

» Dans ces conditions l'impression sur la plaque serait un faisceau diffus, image du faisceau dispersé; mais, si l'on dispose contre la plaque un écran muni d'une petite ouverture parallèle à la source, il passe par cette ouverture un rayon de chaque nature et un seul et l'impression constitue une sorte de spectre où chaque région est impressionnée par un rayon différent. En disposant à la suite l'une de l'autre deux ouvertures semblables, celles-ci définissent avec la source trois points par lesquels il ne peut passer qu'une seule trajectoire circulaire et l'impression donne la trajectoire du rayon simple correspondant.

» Pratiquement les écrans percés de fentes sont collés sur une

lame de verre que l'on applique ensuite contre la plaque photographique. La figure 2 représente un de ces écrans.

» L'épreuve reproduite ci-contre (*fig. 3*), faite dans un champ magnétique de 859 unités C. G. S., montre une série de ces spectres magnétiques sortant par une série d'ouvertures pratiquées dans un écran circulaire en plomb. On a placé sur le trajet de ces faisceaux une lame d'aluminium de $\frac{1}{10}$ de millimètre d'épaisseur : l'épreuve montre que les rayons les plus déviables ne traversent pas cette lame, et donnent sur la face d'entrée des rayons secondaires intenses. Ce sont aussi des rayons secondaires du plomb qui donnent l'impression générale intense à l'intérieur de l'écran. Des rayons moyennement déviables traversent l'aluminium et donnent à leur sortie des rayons secondaires plus actifs que les rayons incidents, et enfin les rayons les moins déviables qui ont aussi la plus grande vitesse, traversent la lame d'aluminium sans produire de rayons secondaires, sans absorption appréciable, et se propagent comme si l'écran n'existait pas. La pénétration des rayons β est donc bien différente suivant leur déviabilité, ou suivant leur vitesse.

» Un fait important à noter est que la totalité du faisceau est déviée, et qu'il n'y a pas trace d'impression de la part de rayons ayant un rayon de courbure infiniment grand. L'épreuve montre une discontinuité bien nette entre la limite des rayons déviés pour lesquels le produit $R\mathcal{K}$ est très voisin de 10^4 , et les rayons γ non déviables qui ont apparu sur cette épreuve.

» En mesurant le rayon de la trajectoire circulaire d'un de ces rayons β , et en déterminant d'autre part sa déviation dans un champ électrique, on reconnaît que la déviation correspond à un flux d'électricité négative et l'on a obtenu en particulier les valeurs suivantes :

$$R\mathcal{K} = 1791, \quad \frac{e}{m} = 1,32 \cdot 10^7, \quad v = 2,37 \cdot 10^{10},$$

valeurs qui sont du même ordre de grandeur que pour les rayons cathodiques; cependant la vitesse s'approche notablement plus de la vitesse de la lumière.

» L'expérience montre que pour les divers rayons le produit $R\mathcal{K} = \frac{m}{e}v$ varie depuis une valeur très petite jusqu'à 10^4 environ; il convenait donc de rechercher si cette variation porte simultanément

sur les deux facteurs, ou seulement sur l'un d'entre eux. Ce point a été élucidé par des expériences très délicates exécutées par M. Kaufmann, qui a soumis un faisceau filiforme, issu d'un grain d'un sel de radium, à l'influence simultanée d'un champ magnétique et d'un champ électrique parallèles, et dont, par conséquent, les effets étaient croisés. L'expérience, faite dans le vide, a donné des sortes de petits spectres obliques permettant de déterminer, pour une même radiation, la déviation électrique et la déviation magnétique, et d'en tirer les valeurs de $\frac{e}{m}$ et de v . La discussion des meilleures épreuves de M. Kaufmann a conduit en moyenne aux valeurs suivantes :

$R\mathcal{E}$	$\frac{e}{m}$	v
4127	$0,75 \cdot 10^7$	$3,10 \cdot 10^{10}$
2903	0,99	2,88
2321	1,16	2,70
1658	1,41	2,34
1294	1,56	2,02
1061*	1,68	1,78

» Dans ce Tableau les valeurs extrêmes doivent être regardées comme moins précises que les valeurs intermédiaires. Le rapport $\frac{e}{m}$ diminue régulièrement à mesure que la vitesse s'approche plus de la vitesse de la lumière. Si l'on admet que la vitesse ne peut dépasser celle de la lumière, et que la limite du produit $R\mathcal{E}$ est, comme on l'a vu plus haut, égale à 10^4 , on trouve, comme valeur limite de $\frac{e}{m}$, $0,3 \cdot 10^7$.

» La variabilité du rapport $\frac{e}{m}$ avec la vitesse est venue apporter un fait expérimental dans un problème d'une grande importance.

» Une charge électrique en mouvement entraîne nécessairement avec elle un champ électromagnétique dépendant de sa vitesse, et l'existence de ce champ se traduit par une inertie d'une nature particulière, que l'on peut se figurer en imaginant les phénomènes d'induction qui naissent par le fait de tout changement dans la vitesse et qui tendent à s'opposer à ces variations.

» Il y a donc une part au moins de l'inertie de l'électron, c'est-à-dire du facteur m , qui est fonction de la vitesse, et, si l'on suppose

toujours la charge e invariable, les expériences précédentes donnent des mesures de la variation de m .

» Or les théories conduisent à distinguer dans la masse d'un électron en mouvement, à côté d'un terme constant applicable à une partie matérielle, deux termes, fonctions de la vitesse, dont l'un est lié à la direction du déplacement et dont l'autre correspond à la direction transversale.

» En comparant les variations de $\frac{e}{m}$ obtenues expérimentalement, aux valeurs déduites des formules théoriques proposées par divers auteurs, M. Kaufmann a reconnu que la variation de la masse totale différerait peu de celle qu'on calcule pour la masse apparente seule, de sorte que le terme applicable à la partie matérielle serait négligeable, et que l'inertie de l'électron serait tout entière de nature électromagnétique.

» Malheureusement les mesures portent sur des déviations très petites, et celles-ci ne comportent pas une précision suffisante pour qu'on puisse exclure toute réserve sur une conclusion dont la conséquence serait que toute masse matérielle est une grandeur de nature électromagnétique.

» On peut donc seulement regarder comme probable que, dans le cas des électrons négatifs libres, leur masse puisse être considérée comme entièrement électromagnétique.

» *Rayons α .* — Revenons maintenant aux rayons α . Ceux-ci sont très peu déviés dans un champ magnétique; cependant, avec un champ de 12 000 unités C. G. S., que l'on a renversé au milieu de la pose, on a obtenu, sur une plaque photographique coupant obliquement un faisceau linéaire, les déviations reproduites ci-contre (*fig. 4*), et relatives aux rayons α émis par un fil activé par l'émanation du radium. Les rayons α émis directement par le radium et le polonium donnent le même phénomène.

» Le faisceau paraît homogène, c'est-à-dire constitué par des rayons ayant tous la même déviabilité magnétique; la trajectoire réelle, normale au champ, est à très peu près circulaire, et le produit $R\rho = 371000$. Dans l'épreuve ci-contre, l'un des faisceaux a traversé préalablement une lame d'aluminium de $0^{\text{mm}},015$ et, comme l'a reconnu M. Rutherford, il se propage moins loin dans l'air que

l'autre faisceau. Divers auteurs ont trouvé pour ces rayons des vitesses comprises entre $2,5 \cdot 10^9$ et $1,6 \cdot 10^9$, et $\frac{e}{m} = 0,6 \cdot 10^4$. Si l'on admet que la charge positive e est égale à la charge d'un atome d'hydrogène dans l'électrolyse, on voit que la masse est de l'ordre de grandeur du double de cet atome, c'est-à-dire de la molécule d'hydrogène.

» M. Rutherford a reconnu que les rayons α se ralentissent en passant au travers des corps, et qu'ils cessent d'ioniser l'air lorsque la vitesse est réduite à un peu plus de moitié de sa valeur initiale; MM. Bragg et Kleeman ont fait voir que l'ionisation de l'air varie d'une manière irrégulière avec le trajet que les rayons α ont préalablement fait dans l'air, ou au travers de divers milieux, et expliquent ces variations par la coexistence dans un même faisceau de rayons inégalement ralentis.

» *Rayons γ .* — Enfin, pour terminer l'analyse du rayonnement des corps radioactifs, je rappellerai que les rayons γ ne sont déviables ni par un champ magnétique ni par un champ électrique et, n'ayant sur leur nature d'autre renseignement que leur pénétrabilité, on les assimile aux rayons X.

» Voici (*fig. 5*) une épreuve où les rayons β ont été rejetés par un champ magnétique en dehors de deux ouvertures placées à la suite l'une de l'autre et laissant passer seulement les rayons γ et les rayons lumineux émis par un sel de radium. Les rayons α ont été arrêtés par une lamelle de verre. Le faisceau rencontre un petit prisme de quartz qui dévie les rayons lumineux, tandis que le faisceau de rayons γ traverse le prisme sans déviation.

PHÉNOMÈNES MAGNÉTO-OPTIQUES.

» M. Zeeman a découvert que les périodes des mouvements lumineux émis par une source incandescente sont modifiées quand cette source est placée dans un champ magnétique.

» D'après la théorie de M. Lorentz, qui a inspiré l'expérience, les vibrations qui se propagent dans la direction du champ doivent se transformer en deux vibrations polarisées circulairement en sens inverse : les unes un peu plus lentes, les autres un peu plus rapides que la vibration primitive correspondante ; de sorte qu'une raie doit

se transformer en un doublet, lorsqu'on reçoit la lumière dans la direction du champ magnétique. Dans une direction perpendiculaire, les vibrations lumineuses doivent être polarisées rectilignement et orientées les unes parallèlement au champ, les autres normalement, ces dernières donnant un doublet égal au précédent, de sorte qu'à la place d'une raie on observe un triplet.

» Le phénomène est en réalité beaucoup plus complexe, comme le montrent les figures ci-jointes (*fig. 6 et 7*), relatives à diverses parties du spectre du fer, et où les vibrations polarisées observées perpendiculairement au champ magnétique ont été séparées par un prisme biréfringent. On reconnaît en particulier que, si le triplet est le cas général, beaucoup de raies manifestent des modes de division plus complexes, notamment avec les vibrations orientées parallèlement au champ, et pour lesquelles la théorie élémentaire ne prévoyait aucune modification.

» M. Zeeman a reconnu en outre que les effets observés avec les raies lumineuses des vapeurs incandescentes se manifestent de la même manière sur les mêmes raies renversées, c'est-à-dire dans le phénomène de l'absorption.

» M. Lorentz admet que les vibrations lumineuses sont le résultat de vibrations transmises à l'éther par les phénomènes électromagnétiques qui accompagnent le mouvement périodique des électrons.

» Il suppose d'abord, et cela constitue la partie élémentaire de sa théorie, que les vibrations lumineuses résultent du mouvement d'un seul électron oscillant avec une période déterminée de part et d'autre d'une position d'équilibre.

» Si l'on remarque que cet électron se meut dans un champ magnétique, il est facile de voir que les seuls mouvements qui peuvent être entretenus sans altération sont, soit les mouvements rectilignes parallèles aux lignes de force, soit les mouvements circulaires perpendiculaires au champ. Ces mouvements peuvent du reste être indifféremment droits ou gauches, et ils auraient la même période que le mouvement primitif en dehors du champ, si, dans le champ, il ne s'ajoutait aux forces qui maintiennent l'électron une force nouvelle résultant de l'action du champ sur l'électron en mouvement.

» Désignons encore par m la masse de l'électron, par e sa charge

et par v sa vitesse, la force en question, dans le champ magnétique $\mathcal{H}$ et pour un déplacement perpendiculaire au champ, est $\mathcal{H}ev$; elle s'ajoute à la force centrifuge du mouvement circulaire ou elle s'en retranche suivant le sens du mouvement et suivant le signe de la charge e , modifiant le nombre de tours par seconde de la quantité $\pm \frac{\mathcal{H}e}{4\pi m}$, de sorte que, si l'on désigne par $\Delta\lambda$ la différence des longueurs d'onde des deux composantes extrêmes du doublet théorique, par λ la longueur d'onde de la raie avant son dédoublement, et par V_0 la vitesse de la lumière, on a

$$\Delta\lambda = \frac{\mathcal{H}}{2\pi} \frac{e}{m} \frac{\lambda^2}{V_0}, \quad \text{d'où} \quad \frac{e}{m} = \frac{\Delta\lambda}{\mathcal{H}\lambda^2} 2\pi V_0.$$

» Une charge électrique positive aura son mouvement retardé si elle tourne dans le sens du courant électrique qui équivaldrait au champ magnétique; au contraire, dans les mêmes conditions une charge électrique négative aura son mouvement accéléré. Or, l'expérience prouve que les vibrations les plus rapides du doublet ont le même sens que le courant en question; donc la charge e est négative, comme pour les électrons des rayons cathodiques.

» Si l'effet d'un champ magnétique $\mathcal{H}$ était d'augmenter ou de diminuer d'un nombre constant proportionnel au champ, $dN = K\mathcal{H}$, le nombre N des vibrations qu'exécutent en une seconde tous les électrons participant à l'émission lumineuse, la valeur du rapport $\frac{\Delta\lambda}{\mathcal{H}\lambda^2}$ serait constante pour toutes les raies.

» L'expérience prouve qu'il n'en est pas ainsi, même pour les diverses raies du spectre d'un même élément, et il faudrait en conclure que la valeur de $\frac{e}{m}$ n'est pas la même pour les électrons qui correspondent aux diverses raies d'un même corps.

» Cependant on peut trouver dans les spectres divers groupes de raies, tels que, pour les raies d'une même série, non seulement le mode de division dans le champ magnétique soit semblable, mais encore la valeur de $\frac{e}{m}$ soit la même.

» En outre des séries de raies correspondantes des spectres de plusieurs éléments distincts, présentent le même mode de division et la même valeur de $\frac{e}{m}$.

» Des expériences récentes de MM. P. Weiss et Cotton ont donné

$$\frac{\Delta\lambda}{\mathfrak{H}\lambda} = 1,875 \cdot 10^{-4} \text{ (C.G.S)} \quad \text{et} \quad \frac{e}{m} = 3,534 \cdot 10^7$$

pour les diverses séries du zinc, et ce résultat est applicable à toutes les raies correspondantes du cadmium, du magnésium, du mercure et du strontium.

» Pour la raie D, de la vapeur de sodium, on aurait $\frac{e}{m} = 2,49 \cdot 10^7$.

» Sans multiplier les exemples numériques on voit que la valeur de $\frac{e}{m}$ ainsi calculée est du même ordre de grandeur que celle qui a été trouvée pour les électrons négatifs des rayons cathodiques.

» Il existe entre le phénomène de Zeeman et le phénomène de la polarisation rotatoire magnétique, découvert il y a longtemps par Faraday, une relation intime qui permet d'obtenir des déterminations de $\frac{e}{m}$ pour les corps à la température ordinaire.

» La rotation du plan de polarisation de la lumière se propageant parallèlement aux lignes de force d'un champ magnétique, est l'effet d'une biréfringence provoquée par le champ, pour les rayons polarisés circulairement qui se propagent suivant cette direction. Si n_1 et n_2 sont les indices de réfraction des rayons circulaires droits et gauches dont la longueur d'onde est λ , et si ω est la fraction de demi-circonférence dont tourne le plan de polarisation au travers de l'unité d'épaisseur du milieu soumis au champ magnétique, on a, comme on le sait,

$$\omega = \frac{n_1 - n_2}{\lambda}.$$

» On sait que l'indice de réfraction est lié à la longueur d'onde λ par une relation $n = f(\lambda, \lambda_0, \lambda_1, \dots)$ qui dépend intimement des longueurs d'onde $\lambda_0, \lambda_1, \dots$ des bandes d'absorption du milieu considéré. Supposons qu'il n'existe qu'une bande d'absorption de longueur d'onde λ_0 . Si, par l'effet du champ magnétique, cette bande se dédouble en deux mouvements circulaires $\lambda_0 \pm \varepsilon$, la différence des deux indices correspondant au déplacement des bandes d'absorption des mouvements circulaires droits et gauches deviendra

$$n_1 - n_2 = 2\varepsilon \frac{\partial n}{\partial \lambda_0}$$

avec

$$2\varepsilon = \frac{\mathcal{H}e}{2\pi m} \frac{\lambda_0^2}{V_0},$$

on peut calculer ces valeurs par l'application des formules théoriques de la dispersion, mais on arrive plus simplement au même résultat de la manière suivante :

» On peut imaginer que les électrons en mouvement dans le champ magnétique, et qui subissent une accélération ou un retard de leur vitesse de rotation de dN tours par seconde, $dN = \pm \frac{\mathcal{H}e}{4\pi m}$, exercent sur l'éther qui transmet les vibrations circulaires non absorbées des réactions élastiques correspondant à leurs vitesses de rotation relatives, c'est-à-dire les mêmes que si les vibrations transmises avec la période invariable $\frac{1}{N}$ faisaient $N \pm dN$ tours par seconde, ou encore les mêmes que si leurs longueurs d'onde étaient

$$\lambda \pm \frac{\lambda dN}{N} \quad \text{ou encore} \quad \lambda \pm \frac{\lambda^2 dN}{V_0},$$

les indices correspondants étant définis par la relation $n = f(\lambda)$ deviendront

$$n \pm \frac{\partial n}{\partial \lambda} d\lambda = n \pm \frac{\lambda^2 dN}{V_0} \frac{\partial n}{\partial \lambda}$$

et l'on aura finalement

$$\omega = \frac{n_1 - n_2}{\lambda} = 2\lambda \frac{\partial n}{\partial \lambda} \frac{dN}{V_0} = \frac{\mathcal{H}e}{2\pi m} \frac{1}{V_0} \lambda \frac{\partial n}{\partial \lambda}.$$

» Cette relation permet de calculer la valeur de $\frac{e}{m}$ attribuable aux électrons qui réagissent sur la propagation de la lumière.

» On a trouvé ainsi pour divers corps gazeux, liquides ou solides,

	$\frac{e}{m}$.
Hydrogène.....	1,77.10 ⁷
Air.....	1,06
Acide carbonique.....	0,89
Eau.....	1,25
Sulfure de carbone.....	0,745
Quartz.....	1,25

nombres du même ordre de grandeur que ceux qui ont été donnés plus haut.

» Le phénomène de Faraday implique l'existence de l'effet

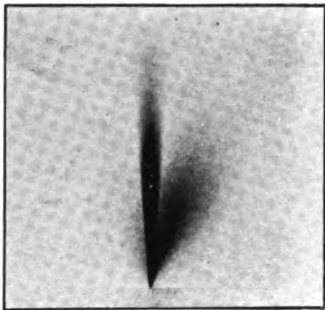


Fig. 1.

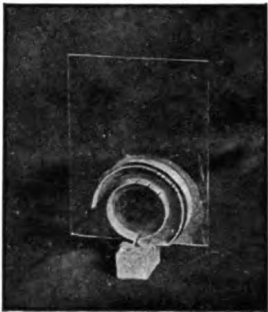


Fig. 2.

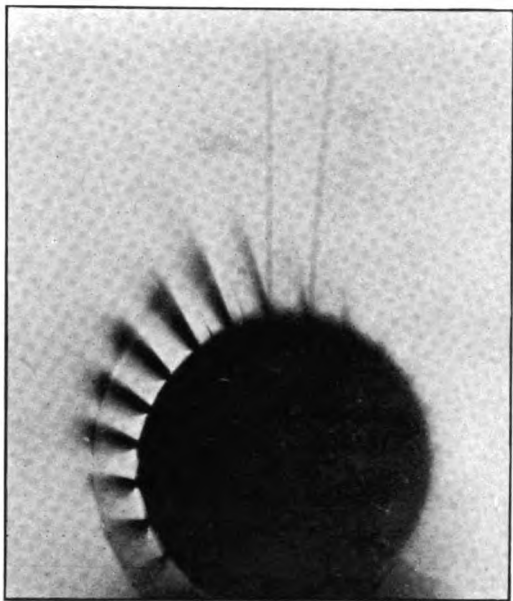


Fig. 3.

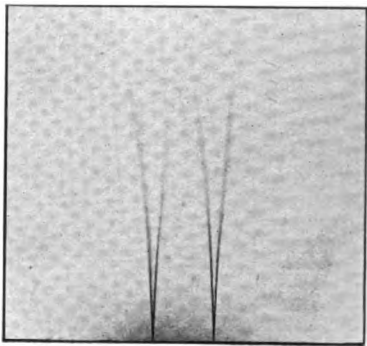


Fig. 4.

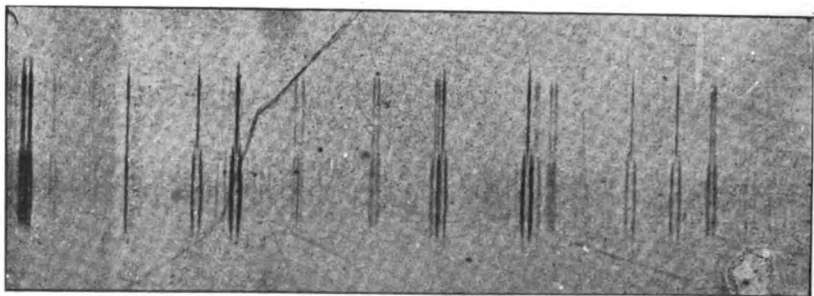


Fig. 6.

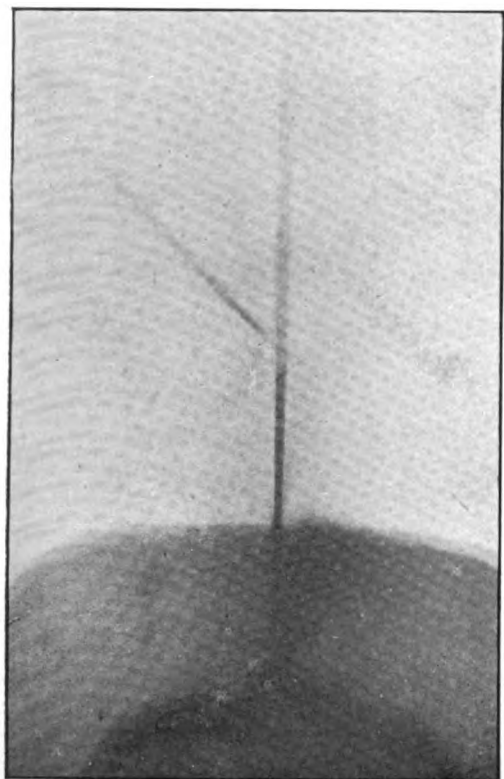


Fig. 5.

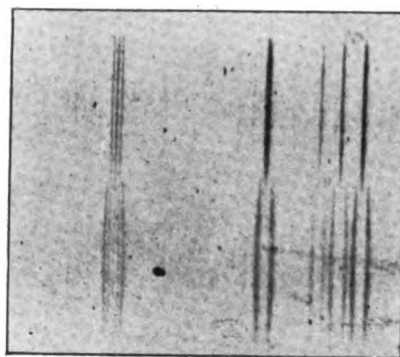


Fig. 7.

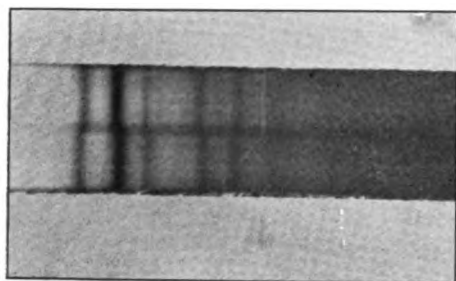


Fig. 8.

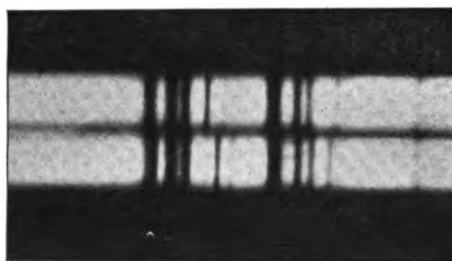


Fig. 9.

Zeeman sur des bandes d'absorption de régions visibles ou invisibles du spectre, non plus seulement pour les vapeurs incandescentes, mais pour tous les corps aux divers températures.

» Un pareil effet n'avait pas été observé avant l'année dernière ⁽¹⁾, et les résultats de cette observation sont particulièrement intéressants. Sans développer particulièrement ici ce sujet, je citerai les résultats suivants :

» Dans certains cristaux, un grand nombre de bandes d'absorption plus ou moins fines se dédoublent en deux ou plusieurs bandes absorbant des mouvements polarisés circulairement en sens contraires. Pour un certain nombre de ces bandes, les mouvements accélérés par le champ tournent dans le sens du courant équivalent au champ magnétique, et semblent correspondre à des électrons négatifs. Mais pour d'autres bandes aussi nombreuses que les premières le sens du dédoublement correspond à des mouvements circulaires de sens inverse, de sorte que l'on est conduit à y voir l'effet d'électrons positifs, à moins que d'autres considérations théoriques ne puissent donner une explication de cette inversion.

» Le dédoublement des bandes n'est pas seulement lié à la direction, dans le cristal et dans le champ magnétique, de la vibration lumineuse absorbée, mais il dépend des modifications que peuvent subir, de la part du champ, les mouvements des électrons dans la direction même de la propagation de la lumière.

» Les modifications exercées sur les vibrations parallèles au champ sont parfois extrêmement grandes et dissymétriques. Les figures ci-contre (*fig. 8 et 9*) donnent quelques exemples des effets observés. La figure 8 donne les spectres d'absorption des deux vibrations circulaires dans la direction du champ, pour le xénotime, à la température ordinaire (région rouge). La figure 9 est relative au spectre du même cristal à la température de l'air liquide (région verte).

» Les valeurs de $\frac{e}{m}$, calculées comme il a été indiqué plus haut, sont notablement plus grandes que les valeurs trouvées pour les rayons cathodiques; les nombres relatifs aux électrons négatifs varient jusqu'à 16.10^7 , et les valeurs attribuables aux électrons positifs varient entre les mêmes limites. Ces nouveaux électrons

(1) JEAN BECQUEREL, 1906, *Le Radium*, t. IV, 1907, février et mars, p. 49 et 107.
2^e SÉRIE, TOME VII, 1907. — N° 65.

positifs auraient donc la même masse que les électrons négatifs qui les accompagnent dans les solides, et, si l'on adopte l'hypothèse de l'invariabilité de e , cette masse pourrait se réduire au dixième de la masse de l'électron des rayons cathodiques.

» Les limites de cette Communication ne me permettent pas de m'étendre davantage sur ces questions, ni de vous dire tout le parti que l'on a pu tirer de la conception des électrons dans l'étude des phénomènes de la conductibilité électrique.

» En terminant je résumerai seulement les valeurs numériques du rapport $\frac{e}{m}$ déduites des divers ordres de phénomènes que nous avons passés en revue.

	$\frac{e}{m}$	
Ions d'hydrogène.....	9650	
Électrons positifs :		
Rayons canaux.....	de 300 à 12000	
Rayons α	6000	
Électrons négatifs :		
Rayons cathodiques.....	de 0, 6 à 1,86	} $\times 10^7$
Rayons β	— 0, 7 — 1,68	
Phénomène de Zeeman.....	— 3,53	
Pouvoir rotatoire magnétique.....	— 0, 7 — 1,77	
Absorption dans les cristaux.....	— 0, 3 — 16	
Électrons positifs :		
Absorption dans les cristaux.....	1, 9 — 16	$\times 10^7$

» On voit que, si le rapport $\frac{e}{m}$ est du même ordre de grandeur lorsqu'il est déduit de l'interprétation de phénomènes très divers, il s'en faut cependant que l'on puisse considérer ce rapport comme constant.

» L'invariabilité attribuée à la charge élémentaire d'électricité implique des variations dans la masse réelle ou apparente des électrons. Pour les rayons β on peut attribuer ces variations aux vitesses des électrons, mais on n'a aucun renseignement analogue pour les électrons des sources lumineuses ou des cristaux absorbants, si ce n'est que les vitesses paraissent trop faibles pour justifier une variation de la masse. Certains de ces électrons auraient des masses notablement plus petites que celles des électrons cathodiques, et ces variations montrent tout l'intérêt qui, au point de vue des progrès des théories moléculaires, s'attache aux recherches ouvertes dans cette voie. »

LOI DE L'ATTRACTION MAGNÉTIQUE A DISTANCE ET SES APPLICATIONS.

M. PICOU. — « La littérature électrotechnique est à peu près muette en ce qui concerne le calcul des attractions exercées à distance entre les diverses parties d'un système électromagnétique, tel qu'un électro-aimant, par exemple.

» La loi bien connue de Maxwell pour la force portante au contact, $F = \frac{10^7 S}{8\pi}$, se trouve partout. Mais, pour l'action à distance, c'est seulement dans le *Bulletin* de notre Société que l'on voit paraître un essai de théorie, indiqué par M. Guénée, en 1900, lors de la présentation de ses électro-aimants à longue course (1).

» Conduit par les circonstances à m'occuper de cette question, j'ai essayé de déduire des équations générales de l'Électrotechnique une expression exacte et qui fût assez simple pour se prêter facilement au calcul industriel du dimensionnement des appareils. Je crois y être parvenu de la manière suivante :

» 1. Dans un système électromagnétique, tel qu'un électro-aimant par exemple, si l'on permet à l'une des pièces un mouvement dx par rapport à l'autre, il en résultera une variation dW de l'énergie du champ. Or l'énergie d'un tel système comportant un flux Φ et une excitation ni est exprimée, comme on sait, par

$$W = - ni\Phi.$$

» Si le système ne comporte que du fer doux, la variation d'énergie se divise en deux quantités que nous savons être égales; l'une

(1) A l'issue de la séance, M. A. Pérot m'a fait connaître qu'il avait déjà établi et publié en 1900 la formule (3) ci-après (*Éclairage électrique*, 6 janvier 1900). La publication m'en a échappé à cette époque; et cette formule étant publiée comme application de considérations développées sur « l'énergie des courants » a aussi échappé à mes recherches plus récentes. Comme le mode d'établissement de la loi d'attraction par M. A. Pérot est différent et, je crois, moins clair que celui que je donne ici, j'ai cru pouvoir maintenir le texte de la Communication telle qu'elle a été exposée en séance; mais je me fais un devoir de reconnaître pleinement la priorité de M. A. Pérot dans l'établissement de l'expression de cette loi.

correspond au travail mécanique effectué, l'autre correspond à l'augmentation d'énergie intrinsèque du système, c'est-à-dire à l'accroissement d'énergie magnétique. Cette dernière donne lieu aux phénomènes dits de *self-induction*; elle ne nous intéresse pas en ce moment.

» Pour l'énergie mécanique W_1 , nous pouvons écrire

$$dW_1 = -\frac{1}{2} d(ni\Phi).$$

» En faisant dès maintenant abstraction du signe de la force, qui n'est jamais douteux, et en développant le second membre

$$dW_1 = \frac{1}{2} (ni d\Phi + n\Phi di).$$

» Mais, dès que le mouvement est achevé, le courant a repris sa valeur initiale; l'intégrale de di est donc nulle.

» Considérant le travail correspondant à un déplacement infiniment petit, dx , nous aurons donc

$$(1) \quad F dx = \frac{1}{2} ni d\Phi.$$

» Le flux Φ peut à son tour s'exprimer en fonction du courant d'excitation et de la réluctance ou de la perméance du circuit, par la formule classique

$$(2) \quad \Phi = 4\pi ni\mathcal{Q},$$

où $\mathcal{Q}$ est la perméance $\left(\frac{1}{\mathcal{R}}\right)$.

» Quand le circuit se déforme lentement, i ne variant pas, Φ n'est fonction que de $\mathcal{Q}$, et nous pouvons différentier l'équation (2) et écrire

$$d\Phi = 4\pi ni d\mathcal{Q}.$$

» Cette valeur, transportée dans (1), donne finalement

$$(3) \quad F = 2\pi(ni)^2 \frac{d\mathcal{Q}}{dx}.$$

» Cette équation (3) est la véritable loi des attractions à distance, avec le signe — devant F si l'on veut conserver la rigueur scientifique.

» Pour être en état de calculer F , il suffira donc de pouvoir calculer $\frac{d\mathcal{Q}}{dx}$. Or, dans la pratique, pourvu que le fer soit suffisamment loin de la saturation, il n'y aura, en général, pas de difficultés à calculer $\mathcal{Q}$ pour les diverses positions relatives de la pièce mobile, et à en déduire les valeurs de $\frac{d\mathcal{Q}}{dx}$ pour toutes les valeurs de x .

» 2. L'expression (3) de la loi des attractions à distance doit contenir et contient, en effet, la formule de Maxwell comme cas limite.

Admettons que l'entrefer soit réduit à une valeur x très petite, la section droite S du tube de force est la même que la section S du noyau de fer. La réluctance est

$$\mathfrak{A} = \frac{l}{\mu S} + \frac{x}{S} \quad (l \text{ longueur du fer}),$$

d'où

$$\mathcal{Q} = \frac{S}{\frac{l}{\mu} + x}.$$

» En différentiant cette valeur par rapport à x , et en considérant dans le résultat x comme négligeable devant $\frac{l}{\mu}$, il reste

$$\left(\frac{d\mathcal{Q}}{dx}\right)_{x=0} = -\frac{\mu^2 S}{l^2}.$$

» Transportant cette valeur dans (3) et remarquant que $\frac{4\pi ni}{l} = \mathfrak{H}$ et que $\mathfrak{B} = \mu \mathfrak{H}$, on trouve bien finalement

$$F = \frac{16\pi^2 (ni)^2 \mu^2 S}{8\pi l^2} = \frac{\mathfrak{B}^2 S}{8\pi}.$$

» 3. *Applications de la formule (3).* — Une application importante de la formule (3) est celle qui porte sur le calcul de l'effort transversal subi par un arbre de machine multipolaire qui n'est pas ou n'est plus rigoureusement centré. Diverses formules ont été données pour ce calcul, notamment en dernier lieu par M. Jean Rey. Toutes admettent que la formule de Maxwell reste applicable à l'entrefer seul lorsqu'il est assez petit; et c'est là un point qu'il importe de vérifier tout d'abord.

» Or il n'en sera ainsi qu'autant que les ampères-tours d'aimantation du fer seront assez faibles pour rester négligeables devant ceux de l'aimantation de l'air. Cela est presque évident d'après ce qui précède.

» Appelons $n_1 i_1$ les ampères-tours pour l'air et $n_2 i_2$ ceux pour le fer; on a

$$2 F dx = 4 \pi (n_1 i_1 + n_2 i_2) \Phi.$$

» On peut écrire aussi

$$\Phi = 4 \pi n_1 i_1 \mathfrak{P}_1,$$

$\mathfrak{P}_1$ étant la perméance de l'entrefer seul.

» Mais, pour qu'en faisant la substitution on puisse retrouver la formule de Maxwell par la marche indiquée plus haut, il faut que $n_2 i_2$ puisse être négligé devant $n_1 i_1$. Comme, en général, cela n'aura pas lieu, on peut en conclure que les formules établies sur cette base donnent des valeurs trop faibles de F , et qu'il convient d'être très prudent dans leur emploi.

» De ces formules, la plus exacte, sous la réserve ci-dessus, est celle de M. J. Rey qui établit que la force est une fonction de l'excentricité ε , définie par le rapport

$$\frac{\varepsilon}{(1 - \varepsilon^2)^{\frac{3}{2}}}$$

$\left[\varepsilon = \frac{a}{e_0}, a \text{ excentrage, } e_0 \text{ entrefer normal (fig. 2)} \right].$

» En appliquant la formule (3) à ce même cas d'un induit excentré, on retrouve la même fonction par une marche de calcul toute différente de celle de M. Rey, et sensiblement plus simple; et l'on a

$$(4) \quad F = 2 \pi (ni)^2 \frac{S}{e_0^2} \frac{\varepsilon}{(1 - \varepsilon^2)^{\frac{3}{2}}},$$

formule applicable dans tous les cas, et où S est la surface totale des faces polaires ou $2p$ fois l'une d'elles si la machine est à pôles saillants.

» Mais cette expression ne donne pas la valeur finale réellement exercée sur l'arbre. Celui-ci en effet n'est pas inflexible; la flèche qu'il prend sous la force magnétique calculée F_m augmente l'excentricité et

par suite la force magnétique, et ainsi de suite. Il est clair qu'il n'y aura de position d'équilibre que lorsque la force élastique F_e développée par la flexion fera équilibre à la force magnétique. Cette force élastique est liée linéairement à la flèche et, par suite, à l'excentricité ε comptée à partir de l'excentricité de construction ε_1 . Le graphique qui donne la force finale est alors très simple :

» Soit (*fig. 1*) OA la courbe $F = f(\varepsilon)$ qui représente la formule (4); la construction donnant lieu par hypothèse à une excentricité ε_1 qui

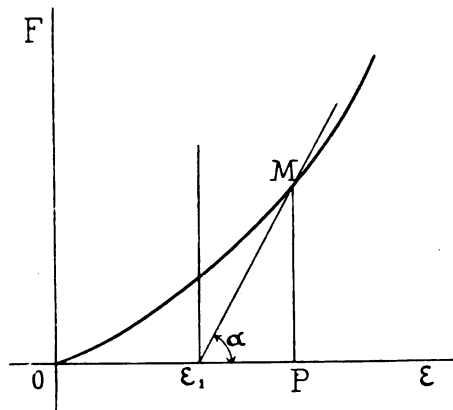


Fig. 1.

détermine la valeur initiale F_1 de la force magnétique. A partir du point ε_1 menant la droite ε_1M qui représente la force élastique de l'arbre en fonction de sa flèche (mesée elle-même en fonction de l'entrefer normal), on obtient en M le point d'équilibre, qui définit la force MP et l'excentricité OP finales. Il est évident que, si la raideur de l'arbre (que figure ici le coefficient angulaire α de la droite ε_1M) est trop faible, la droite ne coupera pas la courbe, ou la couperait trop loin; la flexion ira en augmentant jusqu'à déterminer le contact des deux parties.

» 4. Une autre application de la formule (3) peut être faite pour la détermination de l'effort de soulèvement exercé parallèlement à l'arbre d'une machine à axe vertical, lorsqu'on met le plan de symétrie des inducteurs un peu au-dessus de celui de l'induit (*fig. 3*).

» Soient $2p$ le nombre de pôles, α l'arc polaire de chacun d'eux, e_0 l'entrefer et λ la longueur de l'induit. La perméance de l'entrefer,

seule variable lors d'un petit déplacement, est

$$\Phi = \frac{2pa\lambda}{2e_0}.$$

» La variable est ici λ qui se confond avec x direction du mouvement, et l'on a évidemment

$$\frac{d\Phi}{d\lambda} = \frac{2pa}{2e_0}.$$

» D'où l'effort

$$(5) \quad F = 2\pi(ni)^2 \frac{2pa}{2e_0}.$$

» Cette formule extrêmement simple est valable pourvu que ni

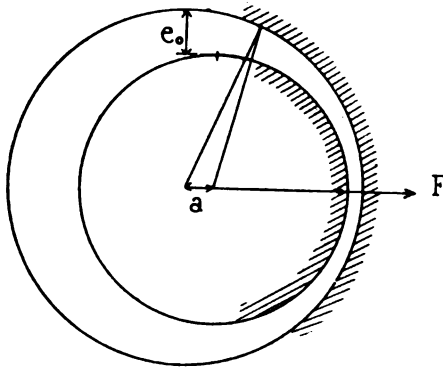


Fig. 2.

représente bien les ampères-tours réels, en tenant compte du petit supplément que peut nécessiter, pour créer la force électromotrice voulue, la diminution de perméance due au déplacement de l'induit. Sous cette réserve il est à remarquer qu'elle est indépendante de la position actuelle de l'induit; c'est-à-dire que la force atteindra la valeur F pour un déplacement très faible à partir de la position de symétrie, et que cette valeur reste ensuite constante sur une assez grande longueur.

» A titre d'application des formules (4) et (5), je donnerai le calcul fait pour machine dynamo de 20 kilowatts environ à 4 pôles, ayant comme données particulières ici :

$$ni = 4690 \text{ ampères-tours} = 469 \text{ C. G. S.}$$

$$S = 2ps = 2340 \text{ cm}^2$$

$$e_0 = 0,3 \text{ cm}$$

$$a = 25,6 \text{ cm}$$

» En supposant un excentrage de un dixième, soit de 0,3 mm, on trouve pour attraction transversale à l'arbre :

$$F = 2\pi (469)^2 \frac{2340}{(0,3)^2} 0,101 = 360.10^6 \text{ dynes,}$$

soit environ 368 kg.

» L'arbre, sensiblement cylindrique, a 70 mm de diamètre et ses appuis sont distants de 850 mm. On trouve facilement que sa flexibilité est alors de 0,5 mm par tonne. Sa flèche sous un effort de 368 kg est donc négligeable devant la grandeur de l'entrefer, et ne

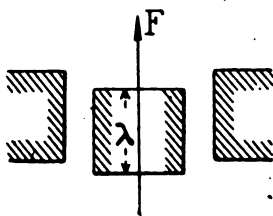


Fig. 3.

modifiera pas sensiblement l'effort calculé; mais la pression résultante sur les coussinets sera au moins double de celle due au tirage de la courroie de commande, à laquelle elle s'ajoutera généralement.

» Supposant maintenant que l'induit est bien centré, mais déplacé longitudinalement, la force antagoniste magnétique prend presque immédiatement la valeur maxima

$$F = 2\pi (469)^2 \frac{2.25,6}{0,3} = 340.10^6 \text{ dynes,}$$

environ 245 kg.

» Cet effort est inférieur au poids (360 kg) de l'induit complet. L'effort magnétique ne pourrait donc pas, dans ce cas, équilibrer totalement l'action de la pesanteur sur l'induit supposé placé verticalement.

» Il convient de faire ici une remarque sur les ampères-tours qu'il faut introduire dans les formules (4) et (5); on doit seulement y compter ceux qui créent véritablement le flux de force; ce seront donc ceux qui correspondent, à vide, à la force électromotrice actuelle. En effet, il n'y a pas à tenir compte de ceux qui ne font que

compenser la réaction démagnétisante de décalage des balais ou du courant. D'autre part, le courant induit modifie la répartition du flux et peut ainsi changer la direction de la force; mais il reste sans effet sur sa grandeur puisqu'il n'altère pas celle du flux. Cette observation tire son importance de ce que ces ampères-tours entrent au carré dans l'expression de la force, et qu'ainsi l'erreur relative qu'on peut commettre dans leur évaluation est au moins doublée dans celle de la force.

» 5. *Électro-aimants à longue course.* — C'est dans le calcul des électro-aimants à longue course que la formule (3) trouvera sans doute ses applications les plus intéressantes. On sait que les électro-aimants sont aujourd'hui entrés dans la pratique industrielle, et qu'on n'hésite pas à leur demander de grands efforts sur des parcours notables. Il est donc important non seulement de disposer de moyens de calcul de ces organes, mais aussi de formules qui permettent d'en discuter les formes et dispositions.

» Les applications posent toujours l'un ou l'autre des problèmes suivants : soit calculer F dans les diverses positions de l'organe mobile; soit déterminer les conditions de construction à remplir pour obtenir une loi donnée de variation de la force avec la course, $F = f(x)$.

» Considérons d'abord le premier problème. Tant que les matériaux magnétiques restent assez peu saturés pour que l'on puisse négliger leur réluctance devant celle de l'air, le calcul de la perméance $\mathcal{Q}$ est généralement assez facile, avec une approximation suffisante. On pourra toujours, pour une position donnée de l'organe mobile, tracer les parcours des lignes de force, empiriquement, en les ramenant à des formes géométriques assez simples. On en déduira une section moyenne S , et une longueur moyenne l , dont le quotient donnera $\mathcal{Q}$. Ces calculs de perméance ne diffèrent pas de ceux que l'on fait pour déterminer, par exemple, les flux de dispersion dans les machines dynamo-électriques. Possédant les différentes valeurs de $\mathcal{Q}$ et de x , on construira la courbe $\mathcal{Q} = f(x)$, d'où l'on déduira immédiatement la courbe dérivée : $\frac{d\mathcal{Q}}{dx} = f(x)$. La formule (3) donnera alors la loi de F , qui ne différera pas, graphiquement, de celle que figure la courbe dérivée.

» Lorsqu'on ne peut plus négliger la réluctance des pièces magnétiques, le calcul est encore possible, mais naturellement un peu plus laborieux. En pratique, on peut souvent éviter cette complication en donnant au fer la section convenable.

» Mais le problème industriel le plus fréquent est le second; il se formule par l'étude de construction d'un appareil devant satisfaire à une loi donnée de variation de la force F avec la course x .

» Connaissant cette loi $F = f(x)$ on en déduit immédiatement celle qu'il faudra réaliser pour $\frac{dF}{dx}$.

» Écrivons la perméance sous la forme $\frac{s}{l}$; il est évident qu'il faudra faire en sorte que, soit l , soit s , soit les deux, soient des fonctions déterminées de la course. Mais il n'y a évidemment que deux solutions présentant le caractère de simplicité nécessaire dans la pratique, celles qui consistent à faire soit l seul, soit s seul, fonction de la course. Faire varier les deux à la fois ne peut conduire qu'à une complication inutile.

» *Première solution* : $l = f(x)$. — Il ne semble pas facile, *a priori*, de faire en sorte que l'entrefer l varie suivant une fonction arbitraire de la course. Ce problème est cependant résolu par la disposition extrêmement ingénieuse de M. Guénée. Elle vous a été exposée ici même, en 1900, par son auteur. Je rappellerai donc seulement que cette solution consiste, dans son essence, à répartir dans l'entrefer de la matière magnétique, suivant les proportions exigées par la loi imposée de croissance de la force. On peut ainsi faire de la longueur d'entrefer l une fonction déterminée et arbitraire de la course du noyau. La section de passage du flux reste ainsi pratiquement constante et égale à celle du noyau, les parties magnétiques ayant pour effet de s'opposer à l'épanouissement des lignes de force vers le cuissage formant culasse. M. Guénée a pu faire de cet électro-aimant des applications extrêmement intéressantes qui ont démontré toute sa valeur industrielle.

» *Seconde solution* : $s = f(x)$. — On peut faire dépendre la section seule de la course; ce qui revient à dire que l'entrefer, de longueur constante, est traversé par le flux de force normalement à la direction du mouvement.

» On obtiendra ce résultat en faisant déplacer le noyau cylindrique dans une cavité cylindrique parallèle, mais de rayon plus grand (*fig. 4*). On peut remarquer que, contrairement à ce qui peut être l'impression première éprouvée dans l'étude des attractions magnétiques, il n'est aucunement nécessaire que la variation de per-

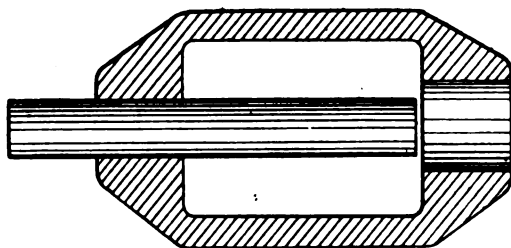


Fig. 4.

méance résulte d'un raccourcissement des lignes de force dans la direction du mouvement. La formule (3) n'indique rien de pareil; c'est la perméance totale $\mathfrak{P}$ qui y figure et non ce qu'on pourrait appeler la composante $\mathfrak{P}_x$ dans la direction du mouvement. L'expérience confirme bien qu'on obtient ainsi des attractions exactement conformes à la théorie.

» Il est certainement plus facile de modifier la loi de variation de s en fonction de x que celle de l . Ainsi, si l'on veut obtenir un effort constant sur toute la course, $\frac{ds}{dx}$ doit être constant; c'est-à-dire que la perméance doit croître comme la course.

» Le noyau cylindrique se déplaçant dans une cavité cylindrique remplit exactement cette condition. Si, au contraire, on veut que la force croisse proportionnellement à la course, $\frac{ds}{dx} = kx$ indique que la partie pénétrante du noyau devra être découpée de manière que sa face terminale soit limitée par un arc d'hélice.

» Un calcul n'est même pas nécessaire pour déterminer le tracé qui réalisera une loi quelconque de croissance de la force. On reconnaît facilement que la courbe d'arête du cylindre est simplement celle que détermine l'enroulement autour du noyau de la courbe figurative $F=f(x)$ tracée à échelle convenable. Portons en effet, sur deux axes rectangulaires (*fig. 5*), horizontalement la course totale X et verticalement la longueur C de la circonférence du noyau; soit Ob la courbe d'arête du développement du noyau. Pour chaque valeur x de

la course, la section S sera proportionnelle à la surface $Omn = \int y dx$.
 Donc $\frac{d\Phi}{dx}$ ou $\frac{dS}{dx}$ est à chaque instant proportionnel à y ou mn . Donc il suffit que mn soit proportionnel à la grandeur de la force au moment considéré, et la courbe Ob n'est pas autre chose que la figuration de la loi de variation de la force avec la course. Dans l'exemple figuré, la force commencera donc par croître plus vite que la course pour devenir constante sur le dernier tiers environ. Il s'ensuit évidemment qu'une préparation mécanique très simple

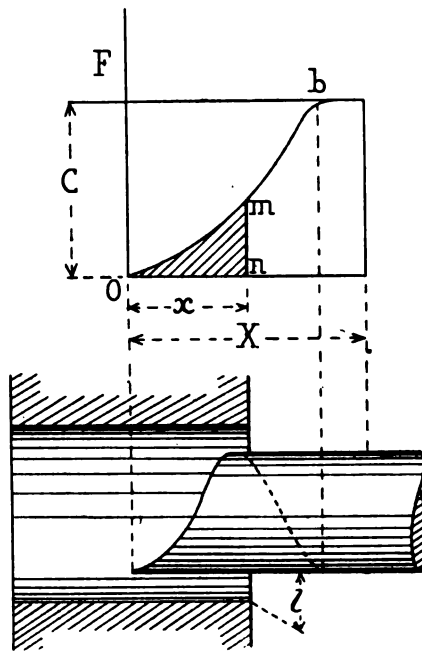


Fig. 5.

sur l'extrémité cylindrique du noyau permettra de réaliser toute variation voulue, avec une approximation pratique tout à fait satisfaisante.

» Le modèle ici exposé, premier appareil établi sur ces bases, a été calculé pour développer un effort constant de 15 kg sur 7 cm de course avec un courant maximum de 2,5 ampères. Il a réalisé très exactement ce programme, le courant mesuré, pour cet effort, étant égal à 2,25 ampères.

» 6. Tout ce qui précède se rapporte à une excitation du système

magnétique par courant continu, et à l'état de repos. En matière de courant alternatif, il en va un peu autrement. Si le courant excitateur est imposé, c'est-à-dire si l'appareil est en circuit avec d'autres dont l'impédance soit grande par rapport à la sienne, la même loi que précédemment subsiste. Mais, si l'excitation est fournie par une différence de potentiel constante, les conditions deviennent beaucoup moins simples. Il faut appliquer alors l'équation différentielle dW_1 avec ses deux termes, car le courant et le flux utile varient tous deux. Les résultats auxquels on arrive sont encore chiffrables; mais la complication des calculs et le peu d'exactitude probable des déterminations de certaines perméances enlèvent tout intérêt pratique aux résultats qu'on peut en attendre.

» Enfin les valeurs de la force données par la formule (3) ne se rapportent qu'à l'état de repos. Lorsqu'il y a mouvement et surtout mouvement assez rapide, on ne peut plus considérer le courant comme invariable, et l'équation dW_1 doit être prise avec ses deux termes. La force électromotrice de self-induction due au mouvement a pour effet d'affaiblir le courant et le champ; le problème est tout différent. Sa solution dépendrait de celle des équations différentielles du mouvement. Or, si celles-ci sont faciles à établir en partant de l'expression générale de la variation de l'énergie, il s'en faut de beaucoup qu'elles soient faciles à résoudre. Du moins m'ont-elles paru insolubles par impossibilité de séparer les variables; c'est pourquoi je crois inutile de les reproduire ici. Dans la pratique industrielle, les mouvements demandés sont assez lents pour que l'on puisse tenir compte de l'affaiblissement de la force par une simple majoration, à l'estime, de la valeur au repos.

» Il ne semble pas d'ailleurs qu'il y ait lieu d'attacher un grand intérêt à la résolution de ces équations différentielles. La remarque faite au début sur le partage égal de l'énergie, pour une variation de position définie, entre la forme mécanique et la forme magnétique, nous montre que le rendement d'un organisme de ce genre ne peut en aucun cas excéder 0,50.

» Industriellement leur application se trouve limitée aux cas où le rendement n'importe pas, c'est-à-dire aux actions intermittentes; et cela leur donne déjà un champ d'exploitation où leurs services peuvent être importants.

» Quant à l'alimentation de systèmes magnétiques de ce genre au moyen d'une force électromotrice alternative, en vue d'obtenir des mouvements continus, c'est une question toute différente, déjà abordée par divers côtés, et sur laquelle nous aurons peut-être occasion de revenir quelque jour. »

M. le PRÉSIDENT remercie M. Picou.

La séance est levée à 10^h35^m du soir.

ERRATUM.

Dans la figure de la page 252, numéro d'avril 1907, communication de M. de Traz, il y a une inversion des figures : il faut commencer par la colonne de droite et finir par celle de gauche, en descendant dans les deux.

A la page 276 du *Bulletin* d'avril 1907, dans la note 3 au bas de la page, remplacer le nombre 0,915 bougie décimale donné pour la valeur la plus récente de l'hefner par 0,89.

BIBLIOGRAPHIE.

Was sind und wie entstehen Erfindungen? par l'Ingénieur Josef Löwy, membre du Patentamt (Office des brevets) impérial royal de Vienne.

Dans cette plaquette d'une quinzaine de pages, l'auteur examine au point de vue philosophique en quoi consistent et comment se produisent les inventions. Il s'attache, dans son étude, à montrer que la loi du développement de Darwin est valable non seulement dans le domaine du monde physique pur et organisé, mais encore peut s'étendre aux manifestations du génie inventif de l'homme.

Précis d'Électricité, par Paul NIEWENGLOWSKI, Ingénieur au Corps des Mines.

Le but de l'auteur a été de présenter un traité général d'Électricité réduisant chaque théorie à son essence même, abstraction faite de détails pouvant obscurcir l'enchaînement des faits et des hypothèses; le lecteur désireux de suivre les progrès de la Science trouvera donc, dans cet Ouvrage, le moyen de préciser ses notions théoriques.

Les phénomènes fondamentaux, les théories les plus connues et les découvertes récentes sont examinés successivement.

La première Partie de l'Ouvrage concerne les lois fondamentales et les expériences qui permettent d'en effectuer la démonstration; la seconde renferme des exemples de calcul se rencontrant dans certaines applications et passe en revue les principales hypothèses et théories modernes.

Cours municipal d'Électricité industrielle, par L. BARBILLION.

Le programme traité en 1904-1905 par M. Barbillion à l'Université de Grenoble visait la *production industrielle des courants continus* et s'adressait à la clientèle ordinaire de l'Institut électrotechnique de Grenoble, composée, comme l'on sait, de praticiens, d'ingénieurs, etc., venant y demander un complément de connaissances pratiques et des bases théoriques solides.

L'enseignement doit ainsi se présenter sous une forme accessible aux auditeurs possédant une instruction mathématique moyenne; c'est précisément sous ce jour que l'éditeur avise le lecteur du but poursuivi par l'auteur et auquel il a si pleinement atteint.

L'Ouvrage est divisé en trente-deux Leçons. Sept d'entre elles sont consacrées au rappel des généralités indispensables : notions de Magnétisme et d'Électromagnétisme, unités, phénomènes d'induction, lois régissant les circuits magnétiques.

L'étude et le fonctionnement des machines dynamos sont traités en détail dans les neuf Leçons suivantes.

La dix-septième Leçon donne quelques notions sur la construction et l'étude mécaniques des organes de la dynamo.

Les essais des machines, y compris ceux des groupes électrogènes hydrauliques, à gaz et à vapeur, font l'objet de quatre Leçons.

Le fonctionnement des moteurs électriques et la régulation des machines complètent l'exposé de la partie théorique que suivent une étude très développée de la traction électrique et une Leçon relative à la distribution en série système Thury.

Le plan de l'Ouvrage est particulièrement original et répond bien aux préoccupations de l'industrie régionale qui l'a motivé; les exemples numériques sont nombreux et facilitent les applications pour le plus grand profit du lecteur.

Annuaire pour l'an 1907, publié par le Bureau des Longitudes.

En dehors des spécialistes auxquels s'adresse plus particulièrement cette publication, l'intérêt qu'elle présente chaque année se rattache aux Notices scientifiques qui l'accompagnent régulièrement.

Le présent *Annuaire* contient, en particulier, des Tableaux détaillés relatifs à la Métrologie, aux monnaies, à la Géographie et à la Statistique ainsi qu'à la Météorologie. L'*Annuaire* 1908, de son côté, ne comprendra pas ces matières, mais, par contre, fournira des données physiques et chimiques.

Nous sommes redevables, cette fois, des Notices savantes d'usage :

A M. Bouquet de la Grye, qui publie une étude sur le diamètre de Vénus et une Note sur la XV^e Conférence de l'Association géodésique internationale;

Et à M. H. Deslandres, qui nous initie à l'histoire des idées et des recherches sur le Soleil et à la révélation récente de l'atmosphère entière de l'astre.

Traité de manipulations et de mesures électriques et magnétiques industrielles, par H. PÉCHEUX.

Chaque professeur aujourd'hui, pour le plus grand profit de tous, cherche à transformer l'enseignement restreint des écoles en un enseignement public; d'où la production de quantité d'excellents Ouvrages de cours entre lesquels le travailleur n'est que plus embarrassé pour faire un choix.

Le Traité de M. Pécheux se classe dans la catégorie des meilleurs. Le titre, suffisamment clair, dispense d'une analyse détaillée; toutes les méthodes exposées ont été l'objet de vérifications pratiquées par l'auteur et de sa propre critique.

Chaque méthode est suivie d'une application immédiate.

La mesure des températures industrielles, celle des quantités de chaleur dégagées par les courants et celle de l'intensité lumineuse des lampes électriques ont été l'objet d'une étude spéciale non des moins intéressantes qui ajoute encore à la valeur de l'Ouvrage.

Construction des induits à courant continu : L'arbre et ses tourillons, par E.-J. BRUNSWICK et M. ALIAMEY; 1 vol. de l'*Encyclopédie scientifique des Aide-Mémoire*. Paris, Gauthier-Villars; Masson et C^{ie}.

Ce Volume, le quatrième de ceux que, dans l'*Encyclopédie des Aide-Mémoire*, les auteurs ont consacrés à la construction des induits à courant continu, traite spécialement de l'arbre et de ses tourillons, en indiquant, de plus et d'après les plus récents enseignements de la pratique, les procédés de montage de l'induit et du collecteur sur cet organe de la machine.

De même que dans les trois autres Volumes, les auteurs se sont efforcés d'appliquer, au calcul de l'arbre et de ses tourillons, les formules simples de la résistance des matériaux en coordonnant les méthodes les plus employées dans la construction des dynamos, observant strictement, dans les définitions et les notations, des règles rationnelles et précises, aussi avantageuses, en électricité qu'en mécanique, pour l'étude des problèmes, la clarté des explications et des formules.

L'Ouvrage comprend cinq Chapitres : I, De l'arbre et des efforts qu'il supporte; II et III, Calcul de l'arbre, Tourillons; IV, Formes à donner aux arbres de dynamos et montage des divers organes; V, Calcul des arbres et applications des formules. Ce dernier donne, à titre d'exemples numériques, la détermination de trois arbres dont l'un est supposé appartenir à une dynamo directement accouplée à une turbine à vapeur.

Il semble bien, du reste, que les auteurs n'avaient pas à s'excuser, ainsi qu'il l'ont fait en préface avec la modestie du savoir, de sacrifier à l'homogénéité des notations et symboles, non plus qu'à craindre de s'être trop étendus sur le sujet traité; car, ce faisant, ils ont, d'une part, collaboré efficacement à la correction du langage scientifique, comme, d'autre part, ils ont contribué grandement à l'application de données que les constructeurs ont tout intérêt à mettre en pratique.

Commutatrices et transformateurs électriques tournants, par J. PARAF; 1 vol. de l'*Encyclopédie scientifique des Aide-Mémoire*. Paris, Gauthier-Villars; Masson et C^{ie}.

Il n'est pas téméraire de penser que certaines propriétés, au moins, de la commutatrice ne sont pas suffisamment connues, tant de ceux qui l'exploitent que des industriels qui pourraient bénéficier de son emploi. Aussi, M. Paraf a-t-il fait œuvre utile et très appréciable en réunissant dans cet Ouvrage toutes les notions théoriques et pratiques relatives à cet important organe de transformation du courant électrique.

Après y avoir formulé les données générales concernant les transformateurs rotatifs, il expose la théorie de la commutatrice et fait une étude très complète des phénomènes dont l'induit et le champ inducteur sont le siège; puis il traite du montage, de la mise en marche (selon le mode de démarrage) ainsi que de l'association des commutatrices, et indique les dispositions convenables pour une station de transformateurs; pour les épreuves de rendement, il donne les trois méthodes — directe, d'opposition et des pertes séparées, — qui font ressortir le rapport de la puissance

fournie à celle qu'absorbe le convertisseur. L'auteur montre ensuite les diverses applications des convertisseurs rotatifs et étudie les conditions d'établissement d'une commutatrice: il termine son intéressante monographie par une revue des avantages et des défauts comparés qu'offrent les transformateurs tournants autres que les commutatrices.



LISTE DES OUVRAGES

OFFERTS A LA SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ELECTRICIENS.

(Suite.)

La Bibliothèque est ouverte aux Membres de la Société, tous les jours
de 2 heures à 5 heures, excepté les dimanches et jours de fêtes,
12, rue de Staël.

France

Électro-aimant (L') à courants alternatifs, par M. GOSSART. (*Cours d'Électricité industrielle professé à la Faculté des Sciences de l'Université de Bordeaux. Année scolaire 1905-1906*). Bordeaux, Féret et fils, 1906; 1 vol. in-4° broché, autographié. (*Don de l'auteur.*)

Éléments de Mathématiques supérieures à l'usage des physiciens, chimistes et ingénieurs. 4^e édition, très augmentée et entièrement refondue, par M. VOGT. Paris, Vuibert et Nony, 1907; 1 vol. gr. in-8°, broché. (*Don des éditeurs.*)

Règle à calculs. Instruction, Applications numériques, Tables et Formules, par A. BEGHIN, 4^e édition, revue et très augmentée. Paris, Ch. Béranger, 1907; 1 vol. in-8°, broché. (*Don de l'auteur.*)

Étranger.

Over de Exhaust-Werking bij locomotieven, van F.-C. HUYGEN. Rotterdam, D. van Sijn et Zoon, 1907; 1 vol. gr. in-8°, broché, et 3 annexes composées de planches. (*Thèse de doctorat ès sciences techniques*). (*Don de l'École supérieure technique de Delft.*)

BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ INTERNATIONALE

DES

ÉLECTRICIENS.

SOMMAIRE.

Admission de Membres titulaires, p. 326. — Don au Laboratoire, p. 326. — Observations sur la Communication de M. R.-V. Picou (M. Bouchet), p. 327. — Étude expérimentale des lignes et appareils télégraphiques : propagation du courant (M. Devaux-Charbonnel), p. 333. — Autotélégraveur Carbonnelle (M. J. Blondin), p. 367.

BIBLIOGRAPHIE, p. 373.

OUVRAGES OFFERTS, p. 375.

COMPTE RENDU

DE LA

RÉUNION ORDINAIRE MENSUELLE

du mercredi 5 juin 1907 (1).

PRÉSIDENCE DE M. GROSSELIN, VICE-PRÉSIDENT.

La séance est ouverte à 8^h40^m du soir et le procès-verbal de la dernière réunion mensuelle adopté.

Il est donné connaissance des Ouvrages offerts pour la Bibliothèque de la Société (*voir* p. 375), d'un don pour le laboratoire et des demandes d'admission suivantes :

(1) La Société n'est pas solidaire des opinions émises par ses membres dans les discussions, ni responsable des Notes ou Mémoires publiés dans le *Bulletin*.

MM.

Arquembourg (Charles), Ingénieur-délégué de l'*Association des Industriels du Nord de la France*; 61, rue des Ponts-de-Comines, à Lille (Nord). — Présenté par MM. Dongier et Swyngedauw.

Coqblin (Henri-Jules-Albert), Ingénieur des Constructions civiles, attaché à la *Compagnie P.-L.-M.* (Service de la construction); Le Bouchet, par Saint-Flour (Cantal). — Présenté par MM. Ancel et Cathiard.

Décombe, Docteur ès Sciences; 13, rue Gazan, à Paris. — Présenté par MM. Bouty et Dongier.

Fauchon-Villeplée (André), Directeur des branches isolants, appareillage et constructions électriques de la *Compagnie générale d'Électricité*; 3, rue Édouard-Detaille, à Paris. — Présenté par MM. Bizet et Drouin.

Hennegrave (Charles-Eugène), Associé de la *Maison Hennegrave et Agnus*; 11, rue François-Ponsard, à Paris. — Présenté par MM. Hillairet et Goldsmith.

Lehmann (Jacques), 45, rue Saint-Sébastien, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Ces candidats sont élus Membres titulaires de la Société internationale des Électriciens.

M. le PRÉSIDENT fait part du décès de MM. *Abel, Anney, Ebel, Dinichert et Vène*; il en exprime les regrets de la Société.

Des remerciements sont adressés à la *Société d'éclairage électrique du Secteur de la Place Cléchy*, pour le don au laboratoire d'un compteur d'électricité.

M. le PRÉSIDENT annonce que des visites aux ateliers et aux travaux du Métropolitain auront lieu, par série, les 22, 24 et 30 juin courant; le nombre des visiteurs étant limité, les Membres de la Société sont priés de se faire inscrire, le plus tôt possible, au Secrétariat, 14, rue de Staël, qui leur fera parvenir des Cartes spéciales.

L'ordre du jour appelle les Communications techniques.

OBSERVATIONS SUR LA COMMUNICATION DE M. R.-V. PICOU.

M. BOUCHET. — « Dans la dernière séance, M. Picou a décrit un nouveau dispositif d'électro à longue course, au sujet duquel je viens présenter quelques remarques.

» Les électros à longue course doivent remplir deux conditions :

» 1^o La loi de variation de l'effort, suivant la course, doit être différente d'après leur usage.

» 2^o Il faut, d'autre part, concilier la variabilité de l'effort avec la meilleure utilisation possible en augmentant le rendement massique $\frac{T}{P}$, T étant le travail, P le poids de l'électro.

» En dehors de la dépense de l'énergie électrique, qui est souvent secondaire dans les petits appareils à marche intermittente, la quantité de travail recueilli est, au contraire, primordiale, dans les électros dont le poids doit être le plus réduit possible. L'augmentation du travail recueilli conduit, en outre, à diminuer le poids de cuivre, et, par suite, le prix de revient pour un travail donné.

» Deux systèmes d'électros sont comparables si la force magnétomotrice est la même, et si les dimensions d'encombrement et le poids de la bobine sont identiques. Il s'agit alors de disposer le métal magnétique autour de la bobine, de façon à réaliser les deux conditions énoncées.

» Dans tout électro-aimant à déplacement d'armature, on sait que l'on a, au début, avant le mouvement du noyau, un flux Φ , et, à fin de course de l'armature, un flux Φ' , Φ' étant plus grand que Φ . Le travail recueilli dépend évidemment de la différence $\Phi' - \Phi$.

» Au lieu d'envisager le flux total, on peut considérer la valeur moyenne de l'induction du noyau à ces deux positions de la course β et β' . L'induction initiale β dépend des conditions générales de l'appareil. On a évidemment intérêt à obtenir le déplacement du noyau, à partir d'une induction relativement faible.

» L'induction finale dépend des moyens matériels employés pour la fermeture du circuit magnétique; et du choix de ces moyens

dépendra le travail recueilli. En pratique, on tend à obtenir des valeurs de β' , voisines de la saturation.

» Enfin, on obtiendra la loi de variation de l'effort en combinant une sorte de soupape magnétique, réglant l'augmentation de flux.

» Les dispositifs que j'ai employés se divisent en deux classes, suivant que la pièce régulatrice fait partie de la carcasse ou de l'armature. Dans la figure 1, l'extrémité polaire P est profilée, le

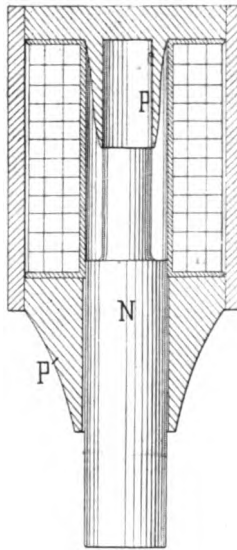


Fig. 1.

noyau N pénètre dans P avec un entrefer extrêmement faible, l'effort dépendant du profil adopté. C'est le type permettant de recueillir le plus grand travail; on voit qu'à fin de course le circuit magnétique est aussi fermé que possible, il n'y a plus comme entrefer que le jeu indispensable au déplacement du noyau. L'attraction commence au centre de la bobine, ce qui est une condition favorable. Un autre moyen consiste à établir un évidement ⁽¹⁾ dans le noyau, l'entrefer restant toujours très faible. Ce type a l'avantage de permettre une course indépendante des dimensions de la bobine.

» M. Guénée, qui emploie ces dispositifs, a construit des électros dont le noyau a une course de trois fois et demie la longueur de la bobine.

(¹) Voir *Bulletin* de décembre 1900.

» Le dispositif à rondelles, employé par M. Guénée dès son apparition, est d'un réglage très commode, mais a un rendement légèrement inférieur aux précédents. En effet, on remarque que l'entrefer comporte toujours, à fin de course, l'espace existant entre les rondelles.

» Dans tous ces types, la cuirasse est disposée avec une extrémité polaire P' (*fig. 1*) extrêmement développée de façon que le champ dans cet entrefer soit faible; c'est une des caractéristiques de ces électros : un entrefer P' mal établi peut faire perdre une notable partie du travail recueilli.

» L'électro décrit dans le *Bulletin* de mai, comportant un noyau cylindrique, ou de section variable, se déplaçant dans un évidement beaucoup plus grand, est une solution simple, mais la loi de variation n'est obtenue que parce que l'entrefer est considérable; le flux final reste donc faible, comparativement aux autres dispositifs; le travail recueilli est donc moindre.

» L'induction du noyau, à fin de course, ne peut être amenée à un état voisin de la saturation, à cause du grand intervalle que les lignes de force ont à franchir pour fermer le circuit magnétique. La majorité des ampères-tours est alors utilisée à forcer le flux dans l'air.

» Si la théorie de l'électro-aimant donne l'indication de la méthode à employer, l'application pratique en est souvent impossible, car, en employant des pièces soumises à une induction voisine de la saturation, la perméabilité décroît rapidement, et les dérivations prennent une importance considérable.

» Il y a également, conformément à la théorie, un phénomène très accentué de répartition hétérogène du flux dans le noyau. L'induction du métal est presque nulle au centre, et augmente de plus en plus jusqu'à la périphérie. On le constate aisément en prenant un noyau à rondelles; si celles-ci sont fixées par une tige en laiton ou par une tige en fer, le travail pratique de l'électro restera le même. Cette dispersion du flux complique encore le calcul de la perméance du circuit en chaque point de la course.

» Enfin, comme l'a dit M. Picou, lorsqu'il y a état de mouvement la self-induction et la force contre-électromotrice produite par le déplacement du noyau, modifient à chaque instant la force magnéto-motrice.

» La courbe ci-contre, obtenue à l'oscillographe par le laboratoire

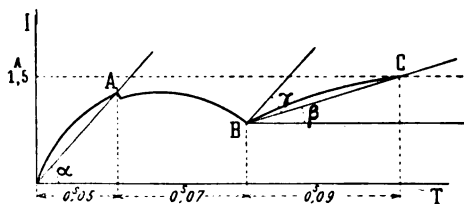


Fig. 2.

de l'Administration des Télégraphes, indique, très clairement, l'intensité du courant pendant le fonctionnement d'un électro.

» L'axe des x correspond au temps, celui des y aux intensités.

» Le courant commence par s'établir progressivement de O à A en raison de la self-induction du système.

» En A, a lieu le départ de l'armature; il se produit alors une force contre-électromotrice qui diminue l'intensité d'après la vitesse du noyau.

» En B, le noyau est à fin de course.

» L'intensité augmente alors progressivement jusqu'à sa valeur ohmique, mais elle est retardée par la self-induction plus considérable que présente l'appareil, l'armature fermant le circuit magnétique.

» La courbe OA dépend du flux initial; la courbe BC du flux final.

» Si l'on mène OA, BD, en appelant α et β les angles que font ces droites avec l'axe des x , on peut dire que l'angle $\gamma = \alpha - \beta$ dépend de l'induction utilisée, α et β représentant les inductions initiales et finales.

» Actuellement, les méthodes d'établissement des électros sont basées sur les résultats des nombreux types créés qui présentent toute la gamme, depuis l'électro produisant un effort de quelques grammes jusqu'aux électros de marteaux-pilons. On peut ainsi obtenir, par interpolation, d'une façon certaine, un électro devant remplir un programme donné.

» Les applications comprennent les électros à mouvement intermittent et ceux à mouvement continu.

» Dans le *Bulletin* de 1900, M. Guénée a signalé des exemples d'applications d'électros à marche intermittente, notamment l'instal-

lation de la gare des Invalides, où tous les appareils de la voie : aiguilles, signaux, marchent directement au moyen d'électros; l'électricité se prête mieux qu'aucun autre système aux combinaisons d'enclenchements.

» Une autre application intéressante est celle des freins de tramways. Plusieurs centaines de motrices et de remorques ont leur frein actionné actuellement par les électros. En général, le courant est fourni par les moteurs, fonctionnant en génératrices; on a ainsi toute sécurité en cas de rupture de la ligne.

» Les caractéristiques de ces électros sont :

» Course : 0,25 m; effort : 250 à 500 kg pour voitures de 8 à 18 tonnes.

» Les autres applications sont très variables : mise en marche à distance de moteurs, valves, distributeurs, etc.

» La réluctance à fin de course étant très faible, on peut maintenir l'armature avec quelques ampères-tours seulement; le noyau, à fin de course, met lui-même en série une résistance dans le circuit de l'électro. Cette propriété est utilisée dans les rhéostats de mise en marche; l'électro joue ainsi le rôle de disjoncteur à minima; si le courant cesse, la remise à zéro se fait automatiquement par la gravité.

» Les applications à marche continue présentent un intérêt spécial. les principales réalisées sont actuellement les perforatrices et les marteaux-pilons.

» La plus grande difficulté était la réalisation d'un interrupteur.

» M. Guénée a pu en combiner qui permettent des pulsations très rapides et qui peuvent se placer à toute distance de l'appareil.

» Les perforatrices sont du type percutant, elles comprennent un électro comprimant un ressort qui, par sa détente, actionne le fleuret; celui-ci est, en outre, assujéti à un léger mouvement de rotation à chaque battement. L'électro donne un effort de 180 kg avec une course de 0,15 m; le nombre de battements dépasse 400 à la minute, ces perforatrices absorbent 16 ampères environ, sous 220 volts. Tout le métal magnétique est soigneusement divisé. L'avancement dans le granit peut atteindre 0,10 m à la minute.

» Plusieurs perforatrices sont en service depuis un temps suffisant pour affirmer leur valeur; leur rendement est voisin de 50

pour 100. Si l'on compare ce rendement à celui des perforatrices actuellement en usage, on constate qu'elles donnent une bien meilleure utilisation de la puissance motrice.

» Les marteaux-pilons comportent des électros beaucoup plus importants; le plus considérable en service a une course de 1 m; le poids du battant est de 550 kg.

» Un dispositif spécial constitue un véritable servo-moteur, permettant, comme dans les pilons à vapeur, d'arrêter le battant en un point quelconque de la course. Ces pilons sont aisément transportables et l'utilisation de l'énergie est plus complète dans ces appareils que dans les pilons à vapeur.

» Je citerai également les marteaux électriques qui permettent de remplacer les marteaux à air comprimé si employés actuellement.

» Des essais m'ont prouvé qu'en adoptant un dispositif spécial, on pourra alimenter ces électros à marche continue par du courant alternatif, de fréquence appropriée, supprimant ainsi l'interrupteur.

» Ces quelques exemples montrent que l'électro-aimant à déplacement d'armature, jadis limité aux sonneries et à la Télégraphie, prend de plus en plus d'extension dans diverses applications industrielles pour lesquelles le moteur électrique n'avait pas les qualités requises. »

M. le PRÉSIDENT remercie M. Bouchet.

ÉTUDE EXPÉRIMENTALE DES LIGNES ET DES APPAREILS TÉLÉGRAPHIQUES.

DEUXIÈME PARTIE.

Propagation du courant.

M. DEVAUX-CHARBONNEL. — « La connaissance des propriétés électriques des lignes est indispensable pour l'étude des phénomènes qui accompagnent la propagation du courant. Mais elle doit être complétée par celle des constantes électriques des appareils qui produisent le courant, ou à travers lesquels ce courant doit se manifester. Nous allons donc tout d'abord nous occuper des appareils transmetteurs et récepteurs.

I. — APPAREILS DE TRANSMISSION ET DE RÉCEPTION.

» *Transmetteurs.* — Les appareils de transmission sont généralement très simples, si on ne les examine qu'au point de vue électrique. Quelle que soit leur complication mécanique, ils peuvent toujours être réduits, en principe, à une simple clef ou levier, permettant d'établir la communication de la ligne avec la pile. Ils n'introduisent donc dans l'ensemble, ligne et appareils, qu'une simple résistance composée de la résistance intérieure de la pile et de celle du transmetteur. Cette résistance a toujours une valeur très faible, et, dans le cas, fréquent aujourd'hui, où l'on emploie des accumulateurs, ou des piles sèches de mêmes propriétés, elle peut jêtre négligée.

» Le type de ces appareils est la clef Morse qui est universellement connue. C'est un levier dont la masse est reliée d'une façon permanente à la ligne. On lui fait prendre contact avec la pile en l'abaissant sur le butoir de travail. Les divers transmetteurs n'en diffèrent que par le mode de commande du levier et par la rapidité du fonctionnement. Les uns, comme les clefs doubles des appareils recorders employés en télégraphie sous-marine, sont mis en œuvre

à la main; d'autres, comme le Hughes, le sont mécaniquement; d'autres enfin, comme le Baudot, sont actionnés au moyen d'un relais électrique. Les uns peuvent émettre au plus 10 signaux par seconde, les autres peuvent en produire jusqu'à 400; mais dans tous on retrouve toujours le même phénomène fondamental : mise en relation d'une pile avec la ligne au moyen d'un levier.

» *Récepteurs.* — Les récepteurs, au contraire, comprennent des organes électriques beaucoup plus compliqués. Bien que leur partie essentielle comporte uniquement un électro-aimant, l'étude complète de ces appareils est des plus difficiles. L'électro-aimant possède, en effet, une assez forte self-induction, due à son noyau de fer; la perméabilité de ce noyau n'est pas constante et dépend de l'intensité du courant magnétisant; celui-ci, en outre, n'atteint pas instantanément son régime permanent. Il en résulte que la perméabilité du noyau, et par suite la self-induction de l'électro-aimant, est essentiellement variable. De plus, pendant le passage du courant, l'armature est attirée et son déplacement produit une variation de la réluctance du circuit magnétique, qui se traduit encore par une variation du flux, c'est-à-dire, finalement, de la self-induction.

» L'étude de la capacité du récepteur est encore plus difficile. Les phénomènes de capacité se produisent, en général, entre des conducteurs qui sont à des potentiels différents. Ils doivent donc se produire entre les différentes spires des enroulements des électro-aimants, et entre les différentes couches de fils. Mais le moyen soit de calculer la capacité, soit de la mesurer, ne se présente pas d'une manière simple.

» *Étude des récepteurs.* — L'étude théorique des récepteurs, à cause de toutes ces complications, est donc à peu près inabordable. Mais heureusement leur étude expérimentale, quand on se limite à la rigueur qui suffit en pratique, peut se faire d'une façon assez commode. Il suffit de fermer le circuit d'une pile sur l'électro-aimant d'un récepteur et d'étudier la courbe d'établissement du courant. Cette étude se fait sans difficulté au moyen de l'oscillographe.

» Nous rappellerons tout d'abord que, si l'on établit un courant à travers une self-induction L et une résistance R , sa valeur en fonction

du temps est donnée par la formule

$$I = \frac{E}{R} \left(1 - e^{-\frac{Rt}{L}} \right).$$

» Si l'on calcule, d'après cette formule, le temps au bout duquel le courant aura atteint une valeur égale à la moitié de celle qu'il atteint au bout d'un temps infiniment grand (pratiquement au bout d'un temps égal à cinq fois la valeur $\frac{L}{R}$), on trouve qu'il est donné par la formule simple

$$T = 0,69 \frac{L}{R},$$

formule qui permet de calculer très facilement L quand on a déterminé la résistance ohmique R .

» *Appareil Baudot.* — Nous commencerons notre étude par celle du relais Baudot dont le fonctionnement est relativement simple. C'est un électro-aimant dont l'armature est polarisée. D'autre part le mouvement de cette armature est très faible, son déplacement est une fraction minime de millimètre. Les circonstances sont particulièrement favorables pour que la self-induction soit à peu près constante pendant le passage du courant.

» *Assimilation à une bobine de self-induction.* — La figure 1 représente la courbe du courant qui s'établit à travers un relais Baudot réglé dans les conditions ordinaires de son fonctionnement normal.

» Cette courbe est absolument analogue à celle que donne une bobine de self-induction. En mesurant sur le cliché le temps T au bout duquel le courant a atteint la moitié de sa valeur de régime permanent, en appliquant la formule donnée antérieurement

$$T = 0,69 \frac{L}{R},$$

on trouve pour la self-induction L la valeur 1,4 henry.

» C'est bien ce chiffre que l'on détermine par la mesure directe.

» Nous en concluons donc qu'au point de vue électrique ce relais est une véritable bobine de self-induction. La résistance et la self-induction interviennent seules, la capacité est négligeable en pra-

tique. En circuit local le courant sera donné par la formule

$$I = \frac{E}{R} \left(1 - e^{-\frac{Rt}{L}} \right).$$

» Ajoutons que, quand on supprime la pile, on obtient une courbe identique à celle de l'établissement du courant, si l'on a soin de

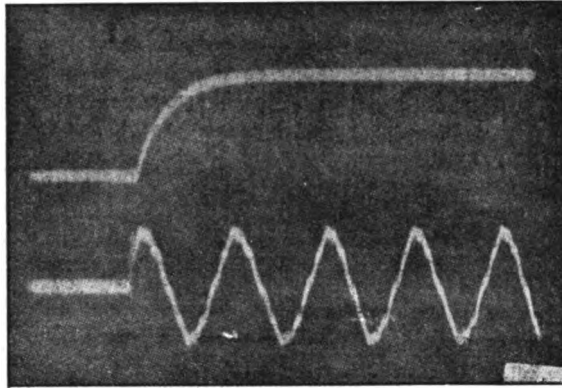


Fig. 1.

mettre la pile en court-circuit. Si au contraire on ouvre le circuit brusquement, on a, comme pour une simple bobine de self-induction, une étincelle et le courant tombe instantanément à une valeur nulle.

» *Influence de l'armature.* — Quand on fait varier la distance de l'armature aux noyaux, on constate que la self-induction est d'autant plus grande que les noyaux sont plus rapprochés. Ceci est très naturel; mais la variation de self-induction est peu importante. Elle est, d'une façon moyenne, de 0,4 henry. La self-induction dépend aussi de l'aimantation des noyaux. Dans les différents spécimens que nous avons étudiés, elle a oscillé entre 1 et 2 henrys.

» Quand l'armature fonctionne, la valeur de la self-induction doit varier. Mais, comme la course de l'armature est très faible, dans un relais bien réglé, cette variation est inappréciable au point de vue pratique et nous n'avons jamais constaté, sur les courbes, d'irrégularités provenant de ce fait.

» *Sensibilité.* -- La sensibilité sera le plus petit courant capable

de faire fonctionner l'armature. Comme, dans ce système de transmission, le relais est réglé à l'indifférence, l'attraction magnétique des noyaux sur l'armature est très faible au repos. Le courant agira d'autant plus énergiquement que l'armature sera plus rapprochée. Mais dans cette position la self-induction est augmentée, on peut donc se demander, au point de vue de la rapidité du fonctionnement, quelle est la position la plus avantageuse de l'armature.

» Prenons un exemple. L'armature étant rapprochée, la sensibilité est de 1 milliampère et la self-induction de 1,8. L'armature éloignée donne une sensibilité de 6 milliampères et une self-induction de 1,4. Dans la formule

$$I = \frac{E}{R} \left(1 - e^{-\frac{tR}{L}} \right),$$

la quantité $\frac{E}{R}$ représente la valeur du courant arrivé au régime permanent. Supposons que cette valeur soit de 40 milliampères. R est égal à 200 ohms. On aura, dans le premier cas,

$$1 = 40 \left(1 - e^{-\frac{tR}{L}} \right) \quad \text{soit} \quad \frac{tR}{L} = 0,025,$$

d'où

$$t = \frac{1,8 \times 0,025}{200} = 0,00022 \text{ seconde};$$

dans le deuxième cas,

$$6 = 40 \left(1 - e^{-\frac{tR}{L}} \right) \quad \text{soit} \quad \frac{tR}{L} = 0,16,$$

d'où

$$t = \frac{1,4 \times 0,16}{200} = 0,0011 \text{ seconde}.$$

» On voit donc que, malgré l'augmentation qui en résulte pour la self-induction, il y aura intérêt à régler le relais à la plus grande sensibilité possible.

» *Fonctionnement de l'armature.* — Le mouvement de l'armature peut être décomposé en trois temps. Dans le premier, le courant s'établit et atteint une valeur suffisante pour faire décoller l'armature. Pendant tout cet intervalle l'armature reste immobile. Dans le

deuxième temps, celle-ci se décolle, quitte le butoir de repos et passe sur le butoir de travail. Enfin dans le troisième temps elle prend contact avec le butoir de travail.

» On peut, en montant le relais en trembleur et en le réglant à l'indifférence, mesurer au moyen de l'oscillographe la durée de ces trois intervalles. En effet, tant que l'armature est sur le butoir de repos le courant passe à travers les bobines du relais; il est coupé au moment où l'armature se décolle, il reprend quand elle vient au contact du butoir de travail. Toutefois ce procédé n'est ni très commode, ni très précis, car le réglage est difficile à obtenir et les bobines du relais, qui sont toujours en circuit avec leur self-induction, masquent les détails des phénomènes.

» Il est préférable d'étudier chaque mouvement à part et pour cela de recourir aux procédés que nous allons indiquer.

» *Décollage de l'armature.* — Le relais monté en trembleur, l'oscillographe O est introduit dans le circuit (fig. 2).

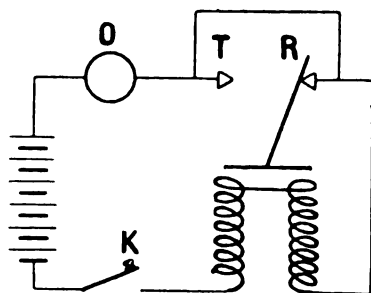


Fig. 2.

» En abaissant la clef K le circuit se ferme, l'armature tend à quitter le butoir R de repos pour venir sur T; mais, dès qu'elle s'en éloigne, le courant est coupé, et, comme ici le relais n'est plus réglé à l'indifférence, elle est rappelée par l'attraction magnétique des noyaux qui sont polarisés. Le phénomène recommence et elle fonctionne comme une sonnerie-trembleur.

» Nous donnons dans le Tableau ci-après les résultats obtenus avec un relais dont la sensibilité était de 3,5 milliampères, en employant des forces électromotrices de différentes valeurs.

Pile.	Courant de régime.	Temps de décollage en seconde	
		observé.	calculé.
26 volts.....	130 milliampères	0,00020	0,00027
10 —	50 —	0,0007	0,0007
1,5 —	7 —	0,0060	0,0066

» Pour déterminer le temps calculé, nous avons supposé que le décollage se produisait au moment où le courant atteint une valeur égale à la sensibilité. On voit que l'expérience confirme suffisamment cette hypothèse. Quant aux formes des courbes elles sont assez différentes, et il est facile de se rendre compte qu'il doit bien en être ainsi. Si le courant de régime est très grand, l'armature se décolle violemment, est projetée à une certaine distance et ne revient au contact qu'au bout d'un certain temps. Le courant montera donc très vite, atteindra la valeur correspondant à la sensibilité, puis sera coupé pendant un temps assez long. Si l'on diminue la force électromotrice le courant atteindra moins rapidement la valeur de fonctionnement. L'armature sera moins écartée du butoir, le courant sera coupé moins longtemps. Enfin, si le courant est très faible, suffisant seulement pour produire le mouvement de l'armature, le courant ne sera coupé que pendant un temps très court.

» Les aspects des courbes sont résumés dans la figure 3.

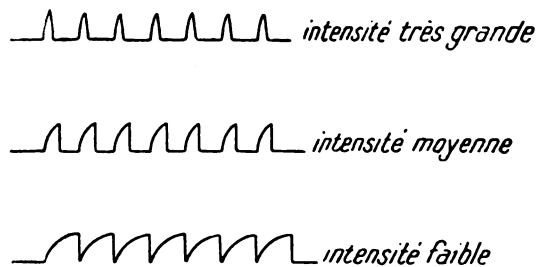


Fig. 3.

» La conclusion de cette première partie de l'étude de l'armature peut donc se résumer ainsi : l'armature se décolle au moment où le courant a atteint une valeur qui est toujours la même pour un réglage donné et qui est égale à la sensibilité.

» Cette conclusion est encore confirmée par l'expérience sui-

vante : en ajoutant des résistances dans le circuit d'un relais on voit que le temps du décollage augmente très sensiblement.

Pile.	Résistance.	Temps de décollage.
10 volts.....	200 ohms	0,0040
—	300 —	0,0062
—	400 —	0,0083
—	500 —	0,0111

» Ce relais était peu sensible ; il fonctionnait à 16 milliampères, et les valeurs observées sont bien d'accord avec les valeurs calculées.

» Quand le relais est sensible, le temps du décollage est très court. C'est ce qui se produira en pratique, car pour la facilité de notre étude nous avons réduit intentionnellement la sensibilité.

» Soit 2 milliampères la valeur de fonctionnement. Pour un courant de régime de 40 milliampères, ce temps ne sera que de 0,00036 seconde.

» Nous allons voir que les autres phases du mouvement de l'armature sont beaucoup plus longues.

» *Passage du butoir de repos au butoir de travail.* — Une fois l'armature décollée, elle passe sur le butoir de travail. Ce mouvement sera évidemment d'autant plus rapide que le rapport du courant de régime à la sensibilité est plus grand, ou, autrement, d'autant plus rapide que la sensibilité est plus grande et le courant final plus intense. Nous donnons plus loin le dispositif expérimental pour étudier le phénomène et les chiffres obtenus.

» *Contact définitif avec le butoir de travail.* — Au moment où l'armature arrive sur le butoir, elle éprouve un choc d'autant plus violent que le courant de travail est plus fort. Elle rebondit, mais elle est rappelée par le courant, de sorte que, finalement, le contact définitif est plus vite assuré et le nombre des rebondissements moins nombreux quand le courant est plus intense.

» Voici le dispositif expérimental qu'on peut employer pour étudier les particularités du mouvement de l'armature. L'armature du relais (*fig. 4*) est introduite en dérivation sur les bornes de l'oscillographe O, de telle manière que le courant d'un circuit local, com-

prenant une pile et une résistance R , traverse l'oscillographe quand cette armature n'est pas en contact avec l'un de ses butoirs.

» On trouve les résultats suivants :

Sensibilité en milliampères.	Régime en milliampères.	Passage sur butoir de travail en secondes.	Contact définitif en secondes.
16	50	0,005	0,014
16	20	0,008	0,025
6	50	0,0025	0,012
6	20	0,0039	0,017
6	7	0,025	0,025

» On voit qu'il y a intérêt à donner au relais la plus grande sensibilité possible.

» Si cette sensibilité est de l'ordre du milliampère, on arrive à réduire le temps de passage sur le butoir de travail à $\frac{1}{1000}$ de seconde

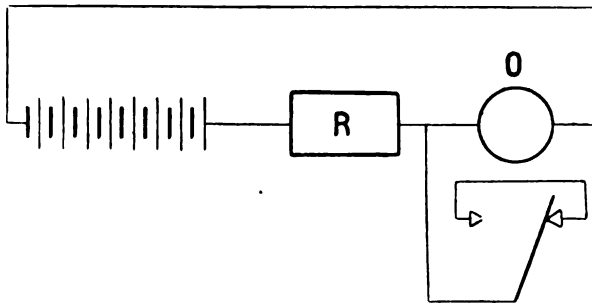


Fig. 4.

environ ; nous avons indiqué, à propos de la mesure de la capacité des lignes, par quel procédé, plus commode que les photographies relevées à l'oscillographe, on peut mesurer des temps aussi courts d'une façon très exacte.

» Le contact définitif est assuré au bout de $\frac{1}{100}$ de seconde.

» *Retour de l'armature.* — On peut, au moyen du même dispositif expérimental, étudier le mouvement de retour de l'armature, quand le courant cesse. La connaissance du temps qu'exige ce mouvement est peu importante, car, en pratique, les relais sont réglés à l'indifférence, de sorte que l'armature ne fonctionne jamais que sous l'effet d'un courant et ne revient pas d'elle-même sur le butoir de repos.

Aussi nous ne donnons des chiffres et nous n'avons fait l'expérience que dans le but de compléter nos connaissances sur le mécanisme du fonctionnement du relais.

» On constate, ce qui est bien à prévoir, que, plus le relais est sensible, moins l'attraction magnétique des noyaux est importante, et, par conséquent, plus le retour est lent et plus sont nombreux les rebondissements sur le butoir de repos.

» Ce retour exige en général de 0,010 à 0,012 seconde, et le contact définitif n'est assuré qu'au bout d'un temps double.

» *Conclusions.* — Nous pouvons conclure de cette étude que dans les conditions ordinaires de son emploi, réglé à l'indifférence et par conséquent doué d'une très grande sensibilité, le relais Baudot fonctionne très rapidement.

» L'armature se met en mouvement au bout d'un temps presque inappréciable, elle passe sur le butoir de repos en $\frac{1}{1000}$ de seconde environ ; mais, pour prendre un bon contact avec ce butoir, il lui faut plusieurs millièmes de seconde, souvent $\frac{1}{100}$. C'est donc cette dernière phase du fonctionnement qui est la plus lente : elle réduirait de beaucoup la rapidité de transmission, s'il était nécessaire qu'elle fût complètement achevée avant qu'un nouveau signal pût être enregistré. Il n'en est heureusement pas ainsi. Le relais n'a à actionner que des appareils locaux qui se mettent en mouvement dès qu'un contact même rapide a eu lieu sur le butoir de repos. Dans ces conditions, le temps de fonctionnement du relais se trouve à peu près réduit à celui qui est nécessaire pour passer du butoir de repos au butoir de travail, c'est-à-dire en $\frac{1}{1000}$ ou $\frac{2}{1000}$ de seconde.

» *Appareil Morse.* — Pour étudier l'appareil Morse nous procéderons comme à l'ordinaire : nous ferons passer un courant, et nous tâcherons de déduire de la forme de la courbe les propriétés électriques.

» La figure 5 représente la photographie de cette courbe.

» On y remarque au début une partie presque verticale assez courte, puis une courbe qui vient s'infléchir, former un crochet, continue à s'élever en s'aplatissant et enfin se termine par une ligne horizontale. Le phénomène est donc assez compliqué.

» *Variation de la self-induction. Retard à l'aimantation.* — Au lieu de laisser l'armature libre, fixons-la d'abord contre le butoir de repos, puis contre le butoir de travail. L'aspect des courbes change, le crochet disparaît, le début vertical existe toujours, mais la courbe est plus aplatie si l'armature est sur travail, c'est-à-dire plus rapprochée des noyaux. En somme, la première partie de la courbe de la figure 5 l'armature correspond à éloignée et en contact avec le butoir de repos. La self-induction n'est pas très grande

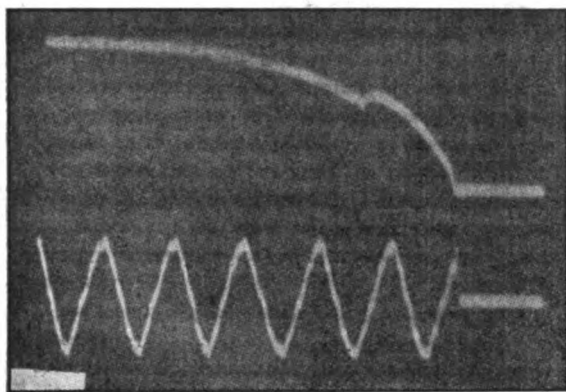


Fig. 5.

dans cette position. Le courant continuant à passer, l'armature est attirée, la self-induction augmente, car le circuit magnétique de l'électro-aimant devient plus court, l'énergie fournie par le courant oblige ce dernier à diminuer de valeur; puis, l'armature étant venue sur butoir de travail, la self ne varie plus, mais elle a une valeur plus grande et le courant continue à croître, mais avec une allure qui correspond à une self-induction plus considérable.

» Nous nous rendons compte ainsi très facilement de la forme générale de la courbe et de la présence du crochet. Reste à expliquer la première partie, l'ascension presque verticale. Pour cela, nous supprimons l'armature; nous constatons qu'alors la courbe se relève, et c'est naturel, puisque la self-induction de l'électro-aimant est moindre. Mais la partie verticale existe encore. Enlevons alors les noyaux et ne conservons que les bobines. La montée du courant est beaucoup plus rapide. La courbe ne présente aucun point singu-

lier et se confond au début avec la partie verticale, dont la présence était restée jusqu'ici sans explication.

» En résumé, si nous reprenons le phénomène complet, nous voyons qu'au début le courant s'établit comme si les noyaux et l'armature n'existaient pas. Leur présence ne se manifeste qu'au bout d'un temps voisin de $\frac{1}{1000}$ de seconde. C'est le *retard à l'aimantation*. Le fer du circuit magnétique étant aimanté, la self-induction augmente beaucoup de valeur : la courbe du courant doit s'aplatir. Quand le champ magnétique est suffisant, l'armature est attirée. A ce moment, l'augmentation brusque et assez considérable de la self-induction se traduit par une diminution de l'intensité du courant, correspondant au travail de l'aimantation et de l'attraction de l'armature ; puis, cette armature venant se fixer dans une position invariable, le courant continue à augmenter, mais dès lors sans à-coup, et la courbe est plus aplatie, parce que la self-induction est plus grande.

» *Valeurs de la self-induction.* — La valeur de la self-induction d'un électro-aimant dépend de la nature du fer qui forme les noyaux et l'armature. Comme ces différentes parties de l'appareil sont assez massives, il faut s'attendre à ce que les valeurs de la self-induction soient assez élevées, et aussi assez variables avec les divers échantillons soumis à l'expérience.

» Quand les noyaux sont enlevés nous trouvons, par la mesure directe ou par l'examen de la courbe à l'oscillographe,

$$L = 0,91 \text{ henry.}$$

» Cette valeur correspond bien à celle qu'on peut directement calculer. La longueur du fil enroulé est de 1050 m environ, la longueur des noyaux de 12 cm. La formule connue donne

$$L = \frac{1,050^2 \times 10^{10}}{12} = 0,9 \times 10^9 \text{ cm} = 0,9 \text{ henry.}$$

» Quand les noyaux sont en place, nous avons trouvé les valeurs suivantes :

Armature éloignée self-induction 12 à 22 henrys,			
—	normale	—	14 à 25 —
—	collée	—	20 à 30 —

» *Désaimantation.* — De même que l'aimantation ne s'établit pas

instantanément, elle ne disparaît qu'assez lentement. Si l'on rompt brusquement le circuit, au lieu de voir le courant devenir immédiatement nul, on constate qu'il tombe de suite à une valeur très faible, mais qui n'est pas nulle, et ensuite il décroît lentement. Le phénomène est d'autant plus marqué que l'armature est plus près des noyaux. Quand elle est collée, il peut durer presque un centième de seconde.

» *Fonctionnement.* — Il résulte de ce qui précède que le fonctionnement du Morse est plus compliqué que celui du Baudot à cause des variations de la self-induction, durant le passage du courant. Cependant il faut remarquer qu'une fois l'armature venue sur le butoir de travail la self-induction ne varie plus, et la courbe du courant, à partir de ce point, se confond avec celle qui aurait été obtenue si la self-induction avait eu, dès le début, la valeur qu'elle a présentement. Ici encore, la considération de la sensibilité simplifie beaucoup la question. La sensibilité, déterminée expérimentalement, donne le courant minimum nécessaire pour amener l'armature sur le butoir de travail. Si nous voulons savoir à quel moment ce phénomène se produira, il suffira, dans la formule bien connue,

$$I = \frac{E}{R} \left(1 - e^{-\frac{tR}{L}} \right),$$

de donner à I la valeur obtenue pour la sensibilité, et à L la valeur qui correspond à la self-induction, l'armature étant en position de travail. Le nombre calculé pour t donnera le temps de fonctionnement.

» Voici, à titre d'exemple, quelques chiffres. Les données expérimentales ont été relevées sur des courbes photographiées à l'oscillographe :

Courant de régime • en milliampères.	Sensibilité en milliampères.		Temps de fonctionnement en seconde	
			observé.	calculé.
50	30	(armature éloignée)	0,020	0,022
50	14	(— normale)	0,0080	0,0076
100	75	(— éloignée)	0,040	0,034
18	14	(— normale)	0,035	0,036

» *Électro-aimants en général.* — L'étude qui vient d'être faite du

Morse s'applique à tous les appareils qui possèdent des électro-aimants renfermant une masse importante de fer doux. Nous ne pouvons donner ici, sans dépasser le cadre de cette Communication, les résultats que nous avons obtenus avec d'autres appareils. Il nous suffira de dire que nous avons constaté toujours les mêmes phénomènes avec des appareils très divers, tels que sonnerie, trembleur, rappel par inversion, relais translateurs divers, et que, par conséquent, les procédés de recherches que nous avons indiqués à propos du Morse semblent s'appliquer d'une manière satisfaisante à tous les récepteurs du même genre.

» *Conclusion.* — L'expérience nous a démontré qu'au point de vue pratique, deux quantités fondamentales intervenaient seules dans le fonctionnement des récepteurs, la résistance et la self-induction. Nous pouvons donc négliger la capacité qui ne s'est manifestée à nous par aucun phénomène spécial. Nous avons constaté de plus que la self-induction est une quantité assez mal définie, pour deux raisons principales : à cause tout d'abord des masses de fer qui sont en jeu, ce qui fait que, parmi les appareils du même type, chacun présente des propriétés particulières, puis ensuite à cause du mouvement de l'armature qui, dans le cas où ce mouvement a une amplitude appréciable, fait varier le champ magnétique développé par le courant.

» Mais la considération de la sensibilité est venue simplifier beaucoup notre étude, car elle nous a permis, même avec un récepteur très compliqué comme le Morse, d'admettre pour la self-induction une valeur constante et bien déterminée, quand il s'agit de calculer le temps de fonctionnement, ce qui est l'essentiel dans les recherches que nous poursuivons et, en résumé, nous pouvons dire qu'au point de vue pratique les appareils télégraphiques se comportent comme de simples bobines de self-induction, possédant à la fois résistance et self-induction, mais ayant une capacité si faible qu'elle semble négligeable.

» *Vitesse de fonctionnement en local.* — Nous pouvons nous faire une idée de la valeur respective de divers appareils en déterminant leur vitesse de fonctionnement en local.

» Comparons, par exemple, un Morse et un Baudot. Leurs propriétés seront résumées par le Tableau suivant, où T représente le temps de fonctionnement pour un courant de régime de 45 milliampères.

	R .	L .	$\frac{L}{R}$.	Sensibilité.	T en seconde.
Morse.....	500	25	0,05	15	0,02
Baudot.....	200	1,6	0,008	3	0,0006

» On voit immédiatement combien le Baudot est plus avantageux. Il fonctionne presque instantanément, alors que le Morse exige un temps égal à $\frac{2}{100}$ de seconde et cela, parce que le premier possède une self-induction beaucoup plus faible et une sensibilité beaucoup plus grande.

» *Vitesse de transmission en local.* — Dans le but de comparer encore mieux les deux appareils, essayons, d'après ce que nous avons vu jusqu'ici, de déterminer quelle peut être la vitesse maximum de transmission atteinte en local par chacun d'eux.

» Pour le Baudot, après avoir fermé le circuit, il faudra que l'armature fonctionne, c'est-à-dire qu'elle atteigne le butoir de travail. Le temps nécessaire pour le décollage sera de 0,0006 seconde, et celui pour passer sur le butoir de travail de 0,001, soit au total 0,0016 seconde. Si, à ce moment, on supprime le courant, en coupant le circuit, l'appareil est prêt à fonctionner immédiatement pour un nouveau courant. On pourrait donc transmettre environ 600 signaux par seconde.

» Mais il n'en sera pas ainsi si le circuit n'est pas brusquement coupé; c'est le cas d'une transmission non absolument en local, mais sur une ligne courte. Au moment où l'on supprime la pile, la force électromotrice appliquée au départ devient nulle, il se produit à l'arrivée les mêmes phénomènes que si l'on superposait au départ à la pile existante une pile égale et de signe contraire. L'envoi d'un courant de sens contraire correspondra à l'application d'une pile de signe contraire, mais de force électromotrice double.

» Si les courants émis successivement sont de même signe, l'armature du relais devant rester toujours appliquée sur le même butoir, il n'y aura pas de limite imposée à la vitesse de transmission;

si un courant de sens contraire succède à un courant de sens déterminé, il lui faudra d'autant plus de temps pour ramener l'armature en arrière que le courant précédent aura été plus près de sa valeur de régime. Finalement, le cas le plus défavorable se présentera quand, plusieurs courants de même sens ayant été reçus, le courant aura atteint son régime permanent et que l'envoi d'un courant de sens contraire devra faire fonctionner l'armature. Il faudra alors que le courant arrivant, qui sera, comme nous l'avons expliqué, virtuellement produit par une force électromotrice de valeur double,

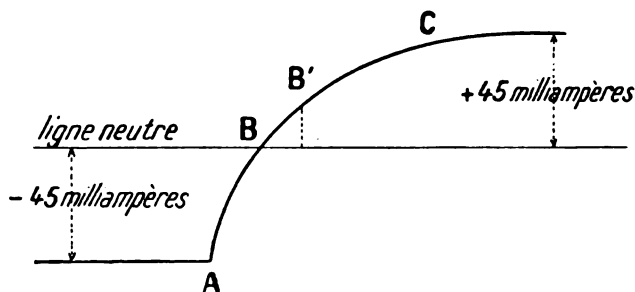


Fig. 6

atteigne tout d'abord la moitié de sa valeur de régime (ligne neutre), puis la dépasse pour donner aux noyaux une polarité différente; enfin prenne une intensité suffisante pour faire fonctionner l'armature.

» Reprenons les mêmes données que précédemment. Le courant de régime était, par exemple, négatif et de 45 millampères (*fig. 6*). Au point A, le courant change de sens et va décrire la courbe ABB'C pour arriver en C à la valeur positive de 45 millampères.

» Il faut 3 millampères pour que le relais fonctionne en positif, c'est donc une valeur de 48 millampères que le courant doit atteindre pour une variation totale de 90 millampères.

» Cette condition donne pour T la valeur 0,006 seconde. Il faut ajouter 0,001 pour que l'armature atteigne le butoir de travail, soit au total 0,007 seconde et, par conséquent, on pourra envoyer 140 signaux par seconde.

» Nous verrons plus tard qu'en pratique on règle la vitesse de transmission de telle façon que le régime permanent soit presque atteint quand un nouveau signal arrive. Si l'on veut procéder ainsi, il faudra que T soit au moins égal à $\frac{2L}{R}$, car, dans ce cas, le régime

permanent n'est encore atteint qu'à un dixième près. Alors T vaut 0,016 seconde et l'on ne peut envoyer plus de 60 signaux à la seconde.

» Considérons maintenant l'appareil Morse. Les courants sont tous du même sens et l'on peut admettre que, pour la transmission d'un point, la ligne est, par le jeu du manipulateur, isolée au départ pendant un temps égal à celui pendant lequel elle est mise en relation avec la pile. Il faut, pour une manipulation correcte, que la ligne revienne à peu près à l'état neutre, pendant le premier temps. Ce dernier devra donc être égal à $\frac{2L}{R}$ et la durée d'un point sera double, soit $\frac{4L}{R}$, ou, dans le cas présent, 0,2 seconde. On ne pourra donc transmettre plus de 5 points à la seconde, soit 300 par minute.

» On voit donc que le Morse sera environ 12 fois moins rapide que le Baudot.

» *Influence de la quantité $\frac{L}{R}$.* — Nous montrerons plus tard que la vitesse de fonctionnement des appareils est beaucoup plus grande quand ils sont placés à l'extrémité de lignes de moyenne longueur. Les calculs que nous venons de faire n'ont donc pas un grand intérêt pratique. Cependant leurs résultats s'appliquent assez bien au cas où les lignes sont très courtes, comme il arrive, par exemple, entre les bureaux d'une grande ville.

» Nous devons faire remarquer, de plus, le rôle essentiel joué par la quantité $\frac{L}{R}$ qui est une caractéristique de chaque appareil et qui peut être appelée sa *constante de temps*. Toutes choses égales d'ailleurs, l'appareil fonctionnera d'autant plus vite que cette constante sera plus petite. Nous reviendrons plus tard sur cette question. Mais nous pouvons dès maintenant faire remarquer qu'il est très facile d'améliorer le rendement. Il suffira d'ajouter une résistance ohmique en série avec un récepteur, car cette opération diminuera sa constante de temps.

§ II. — PROPAGATION DU COURANT SUR LES LIGNES.

» Nous avons exposé comment on pouvait mesurer les constantes électriques des lignes, malgré la complexité des phénomènes dont

elles sont le siège. Nous allons maintenant étudier la façon dont un courant s'y propage. On peut aborder le problème, soit au point de vue mathématique, soit au point de vue expérimental. C'est surtout la seconde façon que nous adopterons. Mais nous nous servirons des résultats de la théorie, pour interpréter plus aisément ceux de l'expérience. Aussi nous croyons utile de donner un court résumé de la théorie mathématique.

» *Théorie mathématique.* — Nous serons aussi bref que possible; aussi nous nous contenterons de donner les résultats de la théorie de Vaschy, qui ont été calculés par M. Barbarat.

» Quand on met une ligne électrique en relation avec une force électromotrice à l'une de ses extrémités, on crée une onde qui se propage sur la ligne avec une vitesse finie. Cette vitesse serait celle de la lumière, si la ligne était seule dans l'espace, mais elle est un peu plus faible, à cause des phénomènes magnétiques et électriques qui se produisent dans le milieu ambiant et dans les corps voisins. Elle est donnée par la formule

$$v = \frac{1}{\sqrt{\gamma\lambda}},$$

γ et λ étant la capacité et la self-induction par unité de longueur, quantités que nous avons appris à déterminer, ce qui donne, pour le cuivre et pour le fer, deux nombres assez différents :

$$\begin{aligned} v &= 235\,500 \text{ km} && \text{pour le cuivre,} \\ v &= 136\,000 \text{ km} && \text{pour le fer.} \end{aligned}$$

» L'onde arrive donc à l'extrémité de la ligne au bout d'un temps

$$\theta = \frac{l}{v} = l\sqrt{\gamma\lambda} = \sqrt{CL},$$

C et L étant la capacité et la self-induction de la ligne entière. Elle s'y manifeste immédiatement sous la forme d'un courant qui prend instantanément une valeur finie, et varie ensuite de manière à se rapprocher de la valeur qui correspond au régime permanent donné par la formule d'Ohm

$$I = \frac{E}{R}.$$

» Mais, en même temps, cette onde, dès son arrivée à l'extrémité de la ligne, se réfléchit, revient en arrière, se réfléchit à l'extrémité de départ, et réapparaît, au bout du temps 30, à l'arrivée, où elle produit un accroissement brusque du courant. Elle revient encore, mais de plus en plus faible aux temps 50, 70, 90, etc.

» La forme de la courbe du courant dépend d'ailleurs de la valeur d'un certain coefficient δ dont la valeur est

$$\delta = \frac{2\pi}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}.$$

» Si ce coefficient est compris entre 0 et 1,46, le courant à l'arrivée ne présente pas de ressauts brusques, il se manifeste avec une valeur inférieure à celle du régime permanent I , et continue à croître lentement et régulièrement jusque vers cette valeur. Pour la valeur 1,46 il débute avec la valeur I elle-même, continue à croître légèrement et reprend très vite la valeur I .

» Entre 1,46 et 8,6 le courant débute par une valeur supérieure à I , qui atteint son maximum pour $\delta = \pi = 3,1416$. Ce maximum est égal à 1,45 I . Les courbes dans cet intervalle présentent des ressauts.

» Au delà de 8,6 le courant débute par une valeur inférieure à I et s'élève peu à peu vers cette valeur par une série de gradins.

» Voici les formules qui correspondent à ces phénomènes. Au départ, le courant prend, dès le début, une valeur finie et subit des ressauts aux temps 20, 40, etc.

Courant d'arrivée au temps 0.....	$\frac{4\pi}{\delta} \frac{E}{R} e^{-\frac{\pi}{\delta}}$
Premier ressaut au temps 30.....	$\frac{4\pi}{\delta} \frac{E}{R} e^{-\frac{3\pi}{\delta}}$
Deuxième ressaut au temps 50.....	$\frac{4\pi}{\delta} \frac{E}{R} e^{-\frac{5\pi}{\delta}}$
.....	
Courant au départ au temps zéro.....	$\frac{2\pi}{\delta} \frac{E}{R}$
Premier ressaut au temps 20.....	$\frac{2\pi}{\delta} \frac{E}{R} e^{-\frac{2\pi}{\delta}}$
Deuxième ressaut au temps 40.....	$\frac{2\pi}{\delta} \frac{E}{R} e^{-\frac{4\pi}{\delta}}$

» Voici un Tableau qui donne quelques valeurs intéressantes :

δ .	Courant d'arrivée.	Premier ressaut.	Deuxième ressaut.	Courant de départ.
0,5.....	0,05	»	»	12,56
1.....	0,54	»	»	6,28
1,46.....	1,00	»	»	4,30
2.....	1,29	0,06	»	3,14
3.....	1,44	0,18	0,024	2,10
3,1416.....	1,45	0,20	0,024	2,00
4.....	1,34	0,30	0,052	1,50
8,6.....	1,00	0,48	0,23	0,74
10.....	0,92	0,48	0,24	0,62
20.....	0,52	0,36	0,28	0,36

» Enfin, la figure 7 donne la courbe $\delta = 4$ telle qu'elle a été calculée par M. Barbarat.

» *Application aux lignes télégraphiques.* — Le facteur δ , qui détermine les différentes formes de la courbe du courant, ne dépend guère, pour les lignes aériennes, que de la résistance, c'est-à-dire de

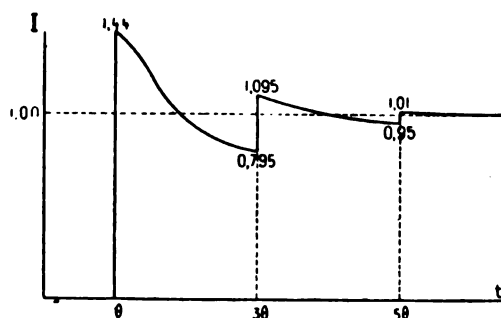


Fig. 7.

la longueur des lignes. En effet, la capacité a une valeur assez uniforme pour les lignes de cuivre et de fer, quel que soit le diamètre; la self-induction a deux valeurs différentes, suivant qu'il s'agit du cuivre ou du fer; mais pour un métal déterminé la quantité

$$\sqrt{\frac{L}{C}} = \sqrt{\frac{l}{\gamma}}$$

est indépendante de la longueur et ne dépend que des valeurs kilométriques.

» Comme la résistance augmente proportionnellement à la lon-

gueur, le coefficient δ diminue en même temps et, comme nous allons le voir, n'atteint la valeur 2 ou 3 que pour les lignes courtes. Pour les lignes souterraines, la valeur élevée de C rend encore ce coefficient plus petit. Voici un Tableau qui donne pour différentes lignes les longueurs correspondantes aux valeurs 2 et 3 de δ :

	$\delta = 2.$	$\delta = 3.$
Fil de fer de 5 mm	345 km	230 km
Fil de cuivre 2,5 mm.....	401 —	269 —
Câble sous papier.....	96 —	64 —
Câble sous gutta	50 —	35 —

» Il ne faut donc pas s'attendre à avoir des courbes présentant beaucoup de ressauts sur les lignes télégraphiques. La valeur 2 pour δ y sera rarement dépassée.

» *Lignes non homogènes.* — En pratique, le problème est encore plus compliqué, parce que les lignes ne sont pas homogènes; elles comportent des sections souterraines et des conducteurs de différents diamètres. Nous avons essayé de ramener le problème au cas des lignes homogènes en calculant la longueur équivalente des différentes spécifications de lignes, au point de vue des valeurs de δ ou de θ . Si, par exemple, nous considérons une ligne en cuivre de 2,5 mm et une ligne en fer de 5 mm, à égalité de longueur, le δ de la première sera 1,16 fois plus grand et le θ sera 1,70 fois plus faible.

» Si donc nous voulons calculer la longueur d'une ligne de cuivre qui sera équivalente à une longueur donnée d'une ligne en fer, la longueur de cette dernière devra être multipliée par 1,16 s'il s'agit de δ , et par 1,70 s'il s'agit de θ , pour tenir compte de ce fait que δ est inversement et θ directement proportionnel à la longueur des lignes. En désignant par A le coefficient de réduction pour le calcul de δ et par B celui de θ , on forme le Tableau suivant :

	A.	B.
Fer 5 mm.....	1,16	1,70
Cuivre 2,5 mm.....	1,00	1,00
Papier.....	4,10	2,70
Gutta	8,60	4,50

» *Étude expérimentale.* — L'étude des lignes présente un genre de difficultés spéciales. Quand aucun appareil n'est en circuit vers l'extrémité qu'on étudie, les courants d'induction des fils voisins viennent troubler et compliquer les phénomènes. On pourra s'en rendre compte par l'examen des figures 8 et 9 qui représentent, la

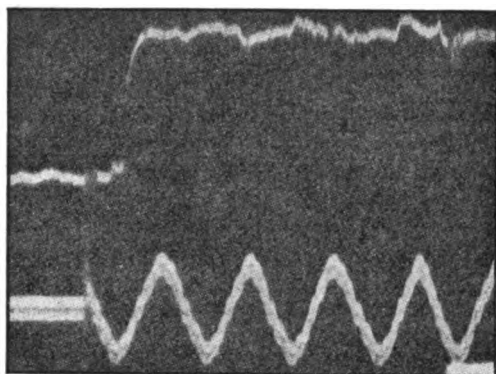


Fig. 8.

première le courant à l'arrivée et l'autre le courant au départ sur une ligne de 1000 km en fil de cuivre de 5 mm.

» On remarquera tout d'abord que les courants d'induction sont moins sensibles au départ. Ceci est naturel, car la résistance de la pile vient s'intercaler entre la ligne et la terre et amortit les courants induits.

» Il est difficile de savoir si les courbes présentent des maxima et des minima. Pourtant le δ est voisin de 2, mais il convient d'ajouter que cette ligne n'est pas homogène. On y rencontre au départ une section souterraine de près de 10 km.

» A l'arrivée, le courant paraît monter très rapidement jusqu'à une valeur voisine de la moitié de celle du régime permanent. Il atteint son maximum vers le temps θ qui est ici de 0,005 seconde,

» Au départ, le courant débute avec une valeur assez grande, qui paraît être triple de la valeur de régime, valeur qu'il atteint vers 2θ .

» Nous avons étudié un certain nombre de lignes et nous avons constaté sur toutes des phénomènes du même genre. Tout d'abord le temps de propagation d'une extrémité à l'autre est bien égal à θ , comme l'indique la théorie. Le courant paraît prendre instantané-

ment une valeur finie, mais il n'atteint sa valeur de régime qu'au bout du temps θ . Les ressauts y sont très peu marqués, même avec des valeurs de $\hat{z}$ très voisines de 3. Cependant les lignes en fer offrent un maximum très net au temps θ , mais ce maximum est bien inférieur en valeur absolue à celui que lui assigne le calcul. Enfin,

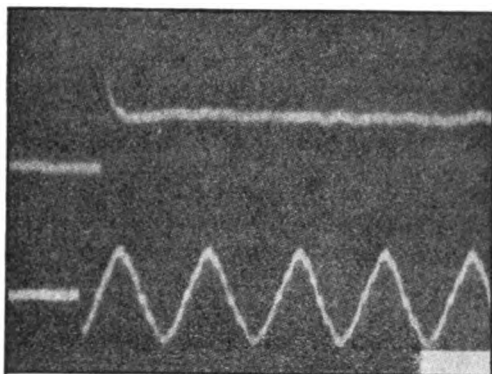


Fig. 9.

pour les lignes en fer, le courant à l'arrivée monte toujours lentement et n'apparaît jamais brusquement avec une valeur différente de zéro.

» *Conclusion.* — Il est bien difficile de conclure à cause de la complication du problème. Les courants d'induction rendent l'examen des courbes difficile et peu sûr; les lignes souterraines introduisent un élément perturbateur dont il est malaisé de tenir compte. Il faudrait, ce que nous nous réservons de faire ultérieurement, n'opérer que sur des lignes homogènes et se mettre à l'abri des courants induits par les conducteurs voisins. Cependant deux faits importants semblent pouvoir être dégagés dès maintenant. Le courant se propage sur la ligne avec une vitesse

$$v = \frac{1}{\sqrt{\gamma \lambda}},$$

les éléments γ et λ ayant les valeurs que nous avons déterminées expérimentalement dans le Chapitre précédent. Ce fait, étant d'accord avec la théorie, est pour nous une confirmation que les chiffres que nous avons indiqués et particulièrement ceux que nous avons adoptés pour la self-induction des lignes en cuivre et en fer sont

acceptables. Il explique pourquoi la vitesse de propagation est moindre sur les lignes en fer que sur les lignes en cuivre.

» Nous pouvons admettre aussi que le courant n'apparaît pas à l'extrémité d'une ligne avec la valeur que lui assigne la théorie. Au lieu de se manifester avec une valeur qui, dans les circonstances favorables où nous nous sommes placés, devrait être supérieure à celle du régime permanent, il s'élève progressivement et n'atteint son maximum, s'il y en a un, ou sa valeur de régime, s'il n'y a pas de maximum, qu'au bout d'un temps θ , qui est justement égal à celui de la propagation du front de l'onde d'une extrémité à l'autre de la ligne.

» Nous croyons devoir rappeler que Vaschy lui-même avait été surpris des discontinuités qu'annonçait la théorie, au moment des ressauts du courant, et qu'il avait fait remarquer qu'il y avait là une anomalie, car tout le calcul reposait sur des intégrations qui supposaient que les phénomènes étaient continus. Peut-être est-il légitime de chercher dans cette remarque les divergences de la théorie et de l'expérience. Quoi qu'il en soit, il nous paraît prudent pour conclure à cet égard d'attendre qu'un nombre plus considérable de faits expérimentaux soit venu modifier ou confirmer les premiers résultats que nous avons obtenus.

III. — LIGNES AVEC APPAREILS.

» La question de l'accouplement des lignes et des appareils n'a jamais été complètement traitée au point de vue théorique, ou, du moins, elle n'a jamais été condensée en formules qui se prêtent à une vérification expérimentale. De sorte que nous n'avons pas le moyen de savoir si les résultats de l'expérience sont conformes aux prévisions de la théorie, ni même, ce qui serait très précieux, de trouver un guide pour leur interprétation.

» Voici tout d'abord quelques résultats :

	δ .	θ .	Régime permanent avec	
			Baudot.	Morse.
Ligne 500 km dont 350 en fer. . . .	1,35	0,0034	0,010	0,022
Ligne 250 km dont 180 en fer. . . .	1,82	0,0022	0,007	0,021
Ligne 1000 km en cuivre de 5 mm. . .	1,94	0,0048	0,010	0,025

» Ces lignes correspondent aux types extrêmes de celles qu'on rencontre en pratique. Les appareils fonctionnent beaucoup plus vite qu'en local. Le temps au bout duquel le régime permanent est atteint paraît pouvoir être représenté par la formule empirique

$$(A) \quad \theta_1 = \theta + \frac{3}{4} \frac{L}{R}.$$

» Cette formule est très simple, mais il ne faut pas se méprendre sur sa portée. Elle s'applique uniquement aux cas que nous avons étudiés et ne saurait être étendue à d'autres, sans quelque circonspection et sans expérience préalable.

» *Conclusion.* — L'accouplement de la ligne et de l'appareil forme un ensemble dont les propriétés sont bien différentes de celles de chacun des éléments. L'expérience semble établir deux faits : la durée du régime variable est toujours de beaucoup supérieure à celle de la ligne seule ; elle est inférieure à la somme de celle de la ligne et de l'appareil. De plus, dans le cas où la capacité est faible, ou bien dans celui où la self-induction n'est pas négligeable, la durée du régime variable est notablement inférieure à celle de l'appareil seul. C'est le cas des lignes aériennes ordinaires. Ce fait s'explique assez facilement. Nous avons dit qu'en local on peut réduire le temps de fonctionnement d'un appareil en mettant en série une résistance, la constante de temps est ainsi diminuée dans la proportion qu'on désire. Il semble que sur les lignes une partie de la résistance s'ajoute à celle de l'appareil pour produire le même effet, et il est naturel que cet effet se produise avec plus d'intensité quand la capacité est faible ; la ligne est un réseau complexe de conducteurs formé d'une branche principale qui est la ligne et sur laquelle sont greffées des dérivations constituées par sa capacité. Plus la capacité sera élevée, plus ces dérivations seront importantes, et plus sera faible la partie de ligne que l'on pourra supposer incorporée avec l'appareil pour agir par sa résistance et produire la réduction de la constante de temps.

» Pour les lignes que nous avons étudiées, et elles semblent comprendre dans leurs limites les cas qui peuvent se présenter pratiquement, la formule empirique (A) semble bien résumer les

données de l'expérience. Voyons quelles conclusions on peut en tirer.

» Pour la ligne, tant qu'on restera dans les conditions où la self-induction a une valeur sensible, c'est-à-dire tant que la valeur du coefficient

$$\delta = \frac{2\pi}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}$$

sera plus grande que l'unité, la résistance jouera un rôle négligeable pour ce qui concerne la durée du régime variable. Elle n'influera que sur la valeur finale du courant. Il suffira donc qu'elle soit dans un certain rapport avec la force électromotrice de la pile. En particulier, l'emploi de lignes en cuivre de gros diamètre ne sera nécessaire que sur les lignes très longues et pour permettre l'emploi des piles d'une tension moyenne. Au contraire, la capacité et la self-induction ont la plus grande importance. D'après la forme de

$$\theta = \sqrt{CL},$$

on voit qu'il faudra qu'elles soient toutes deux aussi petites que possible. La capacité varie peu avec la nature des lignes. Il y aura avantage, tout en maintenant à δ une valeur convenable, à réduire la self-induction. Les lignes en cuivre paraissent à ce point de vue supérieures aux lignes en fer, et c'est probablement à cette circonstance que l'on doit attribuer la préférence que leur accordent les praticiens.

» L'appareil intervient par sa constante de temps $\frac{L}{R}$. Sa capacité semble pouvoir être totalement négligée. La self-induction devra être aussi faible que possible. Nous avons vu que le Baudot était privilégié à cet égard et qu'il était de beaucoup supérieur au Morse. On peut essayer de diminuer la constante de temps par l'adjonction d'une résistance. En local, le régime permanent est atteint beaucoup plus vite. En ligne il pourra y avoir amélioration. Mais cette amélioration ne sera peut-être pas aussi grande qu'elle le paraît au premier abord. Il ne faut pas oublier que dans la formule (A) le coefficient empirique $\frac{3}{4}$ tient compte du fait que la résistance de la ligne influe sur l'appareil. Si cet effet peut être assimilé à l'adjonction d'une résistance supplémentaire assez grande par rapport à

celle de l'appareil, la mise en circuit d'une résistance peu élevée pourra ne produire qu'une variation peu sensible dans la durée du régime variable.

IV. — VITESSE DE TRANSMISSION.

» Il ne faut pas confondre la vitesse de propagation du courant avec la vitesse de transmission. La première, ainsi que nous l'avons vue, est donnée par la formule

$$v = \frac{1}{\sqrt{\gamma\lambda}};$$

c'est, en somme, la vitesse de propagation du front de l'onde électrique, vitesse qui serait égale à celle de la lumière, si la ligne était isolée dans l'espace, et qui se trouve réduite par l'augmentation de la capacité due aux masses conductrices voisines et par l'augmentation de la self-induction produite par le fil lui-même, s'il est en fer, ou par les masses magnétiques situées à proximité.

» La vitesse de transmission est celle de la succession des signaux au poste d'arrivée. Elle est indépendante de la vitesse de propagation, puisque cette dernière pourra bien influencer sur le moment d'arrivée du premier signal, mais elle affectera de la même manière tous les suivants. Elle dépend, au contraire, essentiellement de la durée du régime variable. Pour que des signaux arrivent distincts et en particulier pour que deux signaux de polarité contraire puissent faire fonctionner le récepteur, il ne semble pas nécessaire que le régime permanent soit atteint par le courant dû à l'émission du premier, au moment où le deuxième commencera à se manifester. Cependant, si cette condition est remplie, le fonctionnement n'en sera que plus sûr. Si on la prend comme règle, on parera plus facilement aux légers accidents qui peuvent se produire au cours des transmissions. C'est d'ailleurs celle que nous avons vu réalisée sur des lignes qui semblaient exploiter à la vitesse maximum.

» Si nous l'admettons, la formule (A) nous donnera justement la durée d'un signal et nous permettra d'en déduire la vitesse de transmission. Prenons par exemple une ligne en fer de 500 km et un relais Baudot, nous aurons :

Ligne.	Appareil.
$C = 4,5 \times 10^{-6},$	$L = 1,4,$
$L = 3,$	$R = 200,$
$\sqrt{CL} = 0,0037,$	$\frac{L}{R} = 0,0070.$
$\theta_1 = \sqrt{CL} + \frac{3}{4} \frac{L}{R} = 0,0037 + 0,0052 = 0,0089.$	

» La durée d'un signal étant de 8,9 millièmes de seconde, on pourra transmettre 112 signaux par seconde.

» Considérons une ligne de même longueur, en cuivre. On aura pour cette ligne

$$\theta = \sqrt{CL} + \sqrt{4,5 \times 10^{-6}} = 0,0021.$$

La durée d'un signal sera de 7,3 millièmes de seconde et la vitesse de transmission pourra atteindre 137 signaux.

» La figure 10 donne un spécimen de transmission sur un fil de

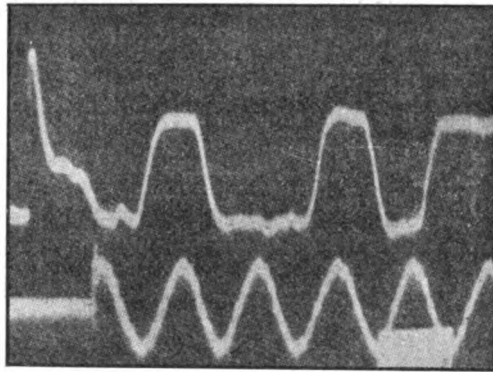


Fig. 10.

Paris à Lyon, dont la partie aérienne est constituée par un fil de cuivre de 2,5 mm, mais qui comporte une section souterraine au départ de Paris.

» Le régime variable dure 0,0080 seconde, chiffre qui est bien d'accord avec celui que nous avons calculé, et qui lui est un peu supérieur à cause de la ligne souterraine. Laissant de côté la première pointe à gauche, dont nous allons parler tout à l'heure, le cliché comporte un signal négatif (au-dessus de la ligne médiane),

un positif, deux négatifs, un positif, un négatif, puis le commencement de deux positifs.

» La durée d'un signal est de 0,019 seconde. La vitesse de transmission est donc bien loin du maximum possible. On remarquera, en effet, l'existence de larges paliers horizontaux qui sont inutiles et pourraient être supprimés par une succession plus rapide des signaux. On en donne ici 53 à la seconde, on pourrait en faire 125.

» Quant à la première pointe de la courbe, elle est produite par la décharge de la ligne. Le fil servait à la transmission et à la réception. Au moment où l'on passe sur réception, la pile est supprimée et la ligne est reliée au récepteur. Cette dernière se décharge; le phénomène est analogue au courant de charge que produirait une pile égale, mais de signe contraire; sa durée est égale à celle d'un signal ordinaire.

» En résumé, la durée minimum d'un signal correspondant à la plus grande vitesse de transmission possible, la formule (A) permettra aisément de calculer le rendement.

V. — APPAREILS RAPIDES.

» *Appareil Siemens et Halske.* — Nous allons étudier succinctement quelques appareils qui donnent des rendements supérieurs au Baudot et examiner quelles sont les qualités spéciales qui leur assurent leur supériorité.

» L'appareil Siemens est composé essentiellement, au départ, d'un distributeur faisant 2000 tours à la minute, soit environ 33 par seconde, et envoyant à chaque tour les courants nécessaires à la formation d'une lettre. 12 courants combinés 2 à 2 servent à former les différentes lettres, sous cette réserve que 2 courants ne pourront se succéder qu'à un intervalle de $\frac{1}{6}$ de tour. Donc la durée d'un signal devra être au plus de

$$\frac{1}{6 \times 33} = \frac{1}{200} = 0,005 \text{ seconde.}$$

» Les deux courants qui forment une lettre sont de polarités différentes. Ils agissent à l'autre extrémité de la ligne sur un relais qui, à l'arrivée du premier, charge un condensateur et le décharge sous l'influence du deuxième. Cette décharge produit une étincelle

très brillante, devant un disque perforé suivant la forme des lettres de l'alphabet, et la lettre correspondante s'imprime sur une bande de papier photographique.

» Voyons, au point de vue électrique, comment la durée d'un signal peut être réduite à 0,005 seconde. Le récepteur a une self-induction très faible, 0,14 henry, et une résistance de 200 ohms, la constante de temps est donc très faible : 0,0007 seconde. Sur les lignes en cuivre ou en fer, dont nous avons parlé plus haut, la durée du signal serait réduite respectivement à

$$0,0037 \text{ seconde} + 0,0005 \text{ seconde} = 0,0042 \text{ seconde,}$$

$$0,0021 \text{ seconde} + 0,0005 \text{ seconde} = 0,0026 \text{ seconde.}$$

» On voit donc que la durée de 0,005 seconde pour un signal n'a rien d'extraordinaire et peut être réalisée grâce à la faible self-induction du récepteur.

» Aux essais, on a constaté que l'appareil fonctionnait bien sur des lignes de 400 km en fer et de 600 km en cuivre. Cette différence est bien d'accord avec l'avantage que nous avons reconnu aux lignes en cuivre, à cause de leur moindre self-induction. Mais il semble que ces longueurs-limites sont un peu faibles, et qu'on pourrait atteindre la vitesse indiquée même avec des lignes plus longues. Mais ici intervient le phénomène de l'induction des fils voisins. La self-induction du récepteur étant très faible, les courants d'induction sont beaucoup plus intenses et, pour se mettre à l'abri des troubles qu'ils produisent, on est probablement obligé d'employer des courants de travail plus intenses et de réduire la vitesse. Il y a peut-être lieu également de tenir compte du fonctionnement mécanique du relais dont l'armature ne peut dépasser une certaine vitesse.

» Les inventeurs déclarent que l'appareil fonctionnerait avec la même vitesse sur des lignes très longues, 1000 km par exemple, à la condition de prendre des fils de plus gros diamètre pour diminuer leur résistance. Cette affirmation n'est peut-être pas correcte, car nous avons vu que la résistance n'influe pas sur la durée du régime variable. Mais pour une ligne de cuivre de 1000 km on aurait

$$\theta = \sqrt{CL} = 0,0042 \text{ seconde,}$$

$$\theta_1 = 0,0042 \text{ seconde} + 0,0005 \text{ seconde} = 0,0047 \text{ seconde,}$$

et, sans faire intervenir la résistance, on conçoit que l'appareil puisse fonctionner dans les mêmes conditions de vitesse.

» Enfin l'appareil ne peut atteindre la même rapidité de fonctionnement sur les lignes souterraines. Ceci est bien naturel, étant donnée leur forte capacité.

» Si nous comparons cet appareil avec le Baudot, nous avons vu qu'on pouvait transmettre 137 signaux sur une ligne de 500 km. Ceci correspond à 27 lettres par seconde. Nous ne sommes pas bien loin du rendement du Siemens et nous croyons que ce rendement pourrait être atteint en ajoutant au besoin une résistance au récepteur et en choisissant des appareils ayant une self-induction aussi faible que possible.

» *Appareil Pollak-Virag.* — L'appareil Siemens peut fonctionner avec une vitesse qui lui permet de recevoir 200 signaux par seconde. L'appareil Pollak et Virag peut en enregistrer jusqu'à 400. Il est facile de comprendre la raison de cette supériorité.

» Nous rappellerons que cet appareil, qui a déjà été présenté par M. Korda à la Société des Électriciens, comporte comme récepteur un téléphone dont la membrane suit les variations du courant qui circule à travers les électro-aimants. La self-induction est celle d'un appareil téléphonique ordinaire, elle est donc environ de 50 milli-henrys. Si la résistance ohmique est de 200 ohms, la constante de temps est réduite à 0,00025 seconde. Sur les lignes en cuivre dont nous avons parlé, la durée du signal sera donc réduite à

$$0,0021 \text{ seconde} + 0,00020 \text{ seconde} = 0,0023 \text{ seconde.}$$

» Ce chiffre diffère peu de celui du Siemens, mais on pourra, dans le cas présent, transmettre facilement 400 signaux à la seconde, parce que le récepteur présente, sur celui de Siemens, une autre supériorité. Son inertie mécanique est inappréciable, car elle ne comporte que celle de la membrane téléphonique, et l'on sait, par l'expérience journalière de la téléphonie, combien cette membrane suit fidèlement et rapidement toutes les variations, même de faibles courants, ce que ne fait pas la palette d'un électro-aimant ordinaire.

» *Appareil Rowland.* — Dans l'appareil Baudot, nous avons vu

que la part de l'appareil dans la durée du signal est prépondérante. Dans le Siemens, elle est presque négligeable. On peut imaginer d'autres dispositifs dans lesquels le récepteur n'intervient plus par ses qualités électriques. Tel est l'appareil Rowland. Cet appareil fonctionne au moyen de courants alternatifs d'une fréquence de 100 périodes environ à la seconde. Les lettres sont formées par un groupe de 11 demi-périodes consécutives, dont certaines sont supprimées. Dans ces conditions, il circule sur la ligne et dans l'appareil un courant alternatif dont la fréquence ne peut être modifiée par leurs qualités électriques. On n'est limité, comme vitesse de transmission, que par l'inertie mécanique du relais récepteur.

» Le système donne 19 lettres à la seconde, il ne paraît pas plus avantageux que le Baudot. Mais il peut être monté en duplex.

» *Autres appareils.* — L'avenir de la télégraphie rapide paraît donc résider dans la diminution de l'importance du récepteur, soit par la réduction de sa constante de temps, système Baudot et Siemens, soit par sa suppression complète au point de vue électrique, système Rowland à courants alternatifs.

» Nous croyons opportun de rappeler que, dès le début de la télégraphie, on avait cherché une solution du problème dans les appareils chimiques. Il semble qu'il y a là une question réellement intéressante, car la suppression de tout électro-aimant à la réception supprime le retard propre à l'appareil et réduit la durée du signal à celle du régime variable sur la ligne, c'est-à-dire à une quantité réellement très faible.

VI. — LIGNES A FORTE SELF-INDUCTION.

» Pour terminer cette étude il ne sera pas sans intérêt de parler des améliorations qu'on peut apporter aux lignes elles-mêmes. Dans le cas des lignes aériennes, il ne semble pas qu'il soit possible de réduire la durée de la période variable en modifiant les constantes électriques. Il faudrait réduire la capacité ou la self-induction. La première de ces quantités a une valeur à peu près indépendante de la nature du fil, la deuxième paraît atteindre son minimum avec les lignes en cuivre.

» Mais pour les lignes souterraines, et surtout pour les lignes sous-marines, on peut arriver à augmenter leur rendement. Nous avons vu que, pour ces lignes, la self-induction pouvait être considérée comme négligeable; cela signifie que la quantité

$$\delta = \frac{2\pi}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}$$

est très petite.

» Dans ces conditions, la durée de la période variable est égale à

$$T = 0,4 CR.$$

» Prenons un câble analogue à celui qui relie Marseille et Alger. On a

$$C = 160 \text{ microfarads,}$$

$$R = 5000 \text{ ohms,}$$

$$0,4 CR = 0,32 \text{ seconde.}$$

» Augmentons artificiellement la self-induction, de sorte que la quantité $\frac{L}{C}$ soit égale à 10^6 . Il suffira que la self-induction par unité de longueur, exprimée en henrys, soit égale à la capacité exprimée en microfarads. On aura dans ce cas

$$\delta = \frac{2\pi}{5} = 1,25,$$

$$C = 120 \text{ microfarads,}$$

$$L = 120 \text{ henrys,}$$

$$\theta = \sqrt{CL} = 0,12 \text{ seconde.}$$

» La valeur δ sera suffisante pour que la ligne puisse fonctionner à la manière d'une ligne aérienne. La durée de la période variable sera près de trois fois plus courte. Toutes choses restant égales, et en supposant que la vitesse de transmission soit indépendante des appareils, on pourra tripler le rendement.

» Si l'on prend un câble beaucoup plus long, le calcul montre que l'avantage, encore très sensible, serait un peu moins grand. Ainsi, pour un câble analogue à celui de Brest au cap Cod, on a actuellement

$$C = 1500 \text{ microfarads,}$$

$$R = 6000 \text{ ohms,}$$

$$T = 0,4 CR = 3,6 \text{ secondes.}$$

» On aurait après augmentation de la self-induction

$$C = 1500 \text{ microfarads,}$$

$$L = 1500 \text{ henrys,}$$

$$\theta = \sqrt{CL} = 1,5 \text{ seconde.}$$

» Le rendement se trouverait doublé.

» On voit par là que l'augmentation de la self-induction des lignes sous-marines est un problème qui présente le plus grand intérêt. Une solution a été trouvée, depuis longtemps, dans l'emploi des bobines Pupin. Mais les difficultés d'installation de ces bobines ont jusqu'ici retardé l'adoption de ce procédé, qui donnerait, suivant toute vraisemblance, un rendement de deux à trois fois plus grand que les lignes actuelles. »

M. POMEX présente une observation sur la portée de ces expériences.

M. le PRÉSIDENT remercie M. Devaux-Charbonnel en faisant remarquer avec quelle souplesse l'oscillographe se prête à l'observation de courants présentant des différences d'intensité considérables.

AUTOTÉLÉGRAVEUR CARBONNELLE.

M. BLONDIX. — « Messieurs, depuis quelques mois on parle beaucoup en Belgique d'une invention, due à un Belge, M. Carbonnelle, permettant de réaliser, pratiquement et économiquement, la transmission à distance des épreuves photographiques et, en même temps, d'assurer la transmission des messages ordinaires avec une vitesse plus grande que celle obtenue jusqu'ici avec les systèmes télégraphiques les plus rapides. J'ai pensé qu'il serait intéressant de vous dire quelques mots des résultats obtenus par M. Carbonnelle, d'après les renseignements que lui-même a bien voulu me communiquer oralement, il y a environ deux mois, et ceux, plus récents, qu'il m'a adressés par lettre depuis que cette communication est inscrite à l'ordre du jour de notre séance.

» I. Comme beaucoup de chercheurs, M. Carbonnelle a d'abord songé à utiliser, pour la transmission des images photographiques, les curieuses propriétés photo-électriques du sélénium, si bien mises à profit dans ces dernières années par M. Korn qui, on le sait, est parvenu par cette voie à obtenir récemment des résultats pratiques très intéressants. Dès 1888 M. Carbonnelle imaginait un dispositif dont l'organe essentiel était une lampe électrique spéciale, dont l'émission lumineuse était réglée par les variations de résistance d'une cellule de sélénium déplacée dans un faisceau lumineux tamisé par le cliché photographique à transmettre. Toutefois, dès l'année suivante, sur les conseils de notre regretté confrère Hospitalier, qui lui fit voir les nombreuses difficultés que soulevait la réalisation pratique de son dispositif, il abandonna cette question et dirigea ses qualités d'inventeur sur d'autres sujets.

» Ce ne fut qu'en 1904 qu'il s'adonna de nouveau à la question qui l'avait préoccupé 16 ans auparavant. Mais il ne tarda pas à constater que les prévisions d'Hospitalier étaient exactes, et deux ans après, et bien que les quelques essais qu'il fit avec le sélénium lui aient donné des résultats assez satisfaisants, il abandonnait son système à sélénium pour étudier un autre système qui lui parut de réalisation pratique beaucoup plus facile.

» Ce système, qui est aujourd'hui mis au point et qui a été, le 1^{er} mars dernier, soumis à des essais officiels sur la ligne télégraphique Bruxelles-Anvers et retour (90km environ), ne comprend en effet que des appareils d'une extrême simplicité. Au poste de départ et au poste d'arrivée se trouvent deux cylindres tournant synchroniquement. Sur le premier est enroulée une feuille de métal, ou de papier métallisé, portant, tracés à la main au moyen d'encre grasse, ou fixés photographiquement à l'aide de procédés spéciaux, les messages, dessins ou épreuves photographiques que l'on veut reproduire. Sur le second se trouve une couche de matière plastique telle que la cire, ou une feuille de métal mou tel que le plomb, ou encore une série de feuilles de papier blanc séparées par des feuilles de papier carbone. Un style métallique, relié à l'un des pôles d'une pile dont l'autre est en connexion avec la ligne, appuie sur la surface de la feuille conductrice qui porte le message ou le dessin, feuille qui est reliée au sol par l'intermédiaire du cylindre support; ce style est animé d'un mouvement de translation suivant une des génératrices du cylindre, de telle sorte que sa pointe décrit une ligne hélicoïdale à spires très serrées sur la feuille. Au poste d'arrivée se trouve un téléphone relié d'une part à la ligne et d'autre part à la terre et qui, lui aussi, est animé d'un mouvement de translation suivant une génératrice du cylindre récepteur; un burin, ou une pointe mousse, est fixé à la membrane téléphonique et trace un sillon dans la cire ou le plomb, ou encore fait apparaître des traits noirs sur les feuilles de papier blanc séparées par du papier carbone.

» On conçoit dès lors le fonctionnement du système. Quand le style transmetteur passe sur une région isolante du message ou image à transmettre, le courant ne passe pas dans la ligne et la pointe du récepteur appuie sur la surface du cylindre de ce dernier appareil; quand au contraire le style passe sur une partie conductrice, un courant est lancé dans le téléphone et la pointe est soulevée. On obtiendra donc au poste récepteur une reproduction, gravée sur cire ou plomb, ou dessinée en noir sur papier blanc, de l'image transmise; cette reproduction sera négative ou positive suivant le procédé utilisé pour fixer sur feuille conductrice l'image transmise.

» Comme on le voit par cette courte description, l'appareil trans-

metteur est celui qui a été utilisé il y a longtemps déjà par Sengraff, Caselli, d'Arlincourt, Cros, etc., dans leurs systèmes à récepteurs électrochimiques, et par de Lucy, Lenoir, Meyer, etc., dans leurs systèmes à récepteurs électromagnétiques, destinés à transmettre à distance les autographes et les dessins. Quant au récepteur il est beaucoup plus original, mais sa simplicité n'est pas moins grande puisque c'est une simple combinaison du téléphone et du phonographe.

» II. On se rend compte facilement que le système de M. Carbonnelle puisse, comme les systèmes qui viennent d'être rappelés, transmettre à distance les messages autographiés et les dessins formés de traits. La reproduction des dessins à tons dégradés se conçoit moins facilement. Voici les quelques renseignements que l'inventeur nous a transmis à ce sujet :

« Je puis obtenir les dégradés ou demi-teinte d'après différents

» principes ou procédés spéciaux :

» 1° Par réticulation spéciale des gommes ou gélatines bichromatées ;

» 2° Par les photographies tramées, principe de la photo ou simili-gravure ;

» 3° Par le principe de l'héliogravure ;

» 4° Par l'emploi de photographies aux sels métalliques et obtenues par procédé spécial, ou transfert sur support conducteur de l'électricité ;

» 5° Par le procédé de photographies dites *au charbon* sur support conducteur de l'électricité.

» Les trois premiers principes sont faciles à comprendre. Le support conducteur reste couvert de points ou de taches de gomme, ou de gélatine bichromatée, ou même de bitume de Judée, etc., de dimensions relatives et proportionnelles aux ombres ou aux noirs du sujet photographié en tirant parti d'un petit tour de main très facile ⁽¹⁾.

(1) A titre documentaire signalons que, d'après la *Revue industrielle* du 2 février dernier, Lenoir a pris, le 23 mai 1877, un brevet français pour l'utilisation de la gélatine bichromatée à la transmission des photographies. Le procédé a d'ailleurs été appliqué, car un abonné de la *Revue industrielle* dit posséder quelques reproductions obtenues par ce procédé en 1877.

» Dans le quatrième principe, la couche de gélatine est d'épais-
» seur uniforme, mais les proportions plus ou moins grandes de
» métal réduit, et traité par un procédé très simple, rendent les dif-
» férents points de la couche plus ou moins conducteurs.

» Dans le cinquième procédé, la résistance de la couche pigmen-
» taire est proportionnelle à son épaisseur; l'épaisseur de ses
» différents points est proportionnelle aux lumières et aux demi-
» teintes. »

» La reproduction ci-jointe d'un portrait du roi d'Angleterre



montre les résultats que l'on peut obtenir.

» III. Au point de vue artistique, cette reproduction est moins
belle que les reproductions de portraits obtenues par le dispositif

de Korn et publiées au début de l'année par l'*Illustration*. Mais il ne faut pas oublier que M. Carbonnelle n'en est qu'à ses premiers essais et que les reproductions photographiques obtenues par M. Korn dans ses essais de 1904 laissaient également à désirer.

» D'un autre côté, le dispositif Carbonnelle présente sur le dispositif Korn l'avantage de la célérité. Dans les récentes expériences faites par l'*Illustration* avec ce dernier dispositif, la transmission d'un cliché 13×18 cm donnant une reproduction 6×10 cm exigeait 12 minutes; avec le dispositif Carbonnelle on a pu, dans les essais Bruxelles-Anvers, reproduire un portrait du roi des Belges, de dimensions 9×18 cm, en 80 secondes. En outre, le procédé Korn donne une pellicule photographique, et il faut un temps assez long, soit pour en tirer quelques épreuves photographiques, soit pour en obtenir, par les procédés phototypiques ordinaires, un cliché typographique destiné à un fort tirage. Au contraire, le procédé Carbonnelle donne immédiatement, par le papier carbone, un nombre d'exemplaires le plus souvent suffisant, et, par la gravure sur plomb, permet d'obtenir, par impression, un nombre d'exemplaires déjà considérable; s'il en faut plus, on doit transformer le cliché sur plomb en cliché typographique en cuivre, en acier, ou en alliage dur⁽¹⁾, mais cette transformation demande moins de temps que la confection d'un cliché typographique en partant d'une pellicule photographique.

» Un autre avantage que M. Carbonnelle revendique en faveur de son système est la possibilité de transmettre les messages ordinaires avec une vitesse beaucoup plus grande que les systèmes télégraphiques actuels les plus rapides. En photographiant une page manuscrite ou une page imprimée et transmettant le cliché obtenu, on peut, suivant ses estimations, transmettre environ 500 000 lettres à l'heure, soit à peu près 100 000 mots dans l'hypothèse généralement admise d'une moyenne de 5 lettres par mot. Or, le télégraphe Pollak-Virag, dont notre collègue, M. Korda, nous entretenait à la séance de décembre dernier, n'a donné, en essais, que 45 000 mots

(1) Il semble d'ailleurs possible d'arriver à supprimer cette obligation, car M. Carbonnelle est parvenu à graver directement sur cuivre, et même sur la fonte dure constituant le cylindre du récepteur; il espère graver directement sur acier en prenant un burin en diamant.

à l'heure. Le système Carboneille lui serait donc supérieur et, au point de vue du développement de l'application de ce système, cet avantage est des plus importants. »

M. le PRÉSIDENT remercie M. J. Blondin.

La séance est levée à 10^h du soir.

BIBLIOGRAPHIE.

Contribution à l'étude des actinomètres électrochimiques, par G. DE Fooz,
1 brochure in-8°. Bruxelles, Hayez, 1906.

Cet Ouvrage est un résumé des recherches systématiques entreprises par l'auteur, au Laboratoire de Physique de l'Université de Louvain, sur les différentes conditions qui peuvent influer sur le fonctionnement des actinomètres et en particulier de l'actinomètre de Gouy et Rigollot (lames de cuivre oxydées). L'auteur arrive à cette conclusion que l'action de la lumière se produit uniquement sur la mince couche sensible qui recouvre l'électrode. Les métaux purs ne sont pas photo-électriques et la lumière n'a aucune action sur l'électrolyte, mais la présence de gaz en solution dans cet électrolyte peut influer dans certains cas sur le fonctionnement de l'appareil.

Les lampes à incandescence électriques, par J. RODET, 1 vol. (23 × 14),
200 pages, 92 figures. Paris, Gauthier-Villars.

L'auteur a réuni dans cet Ouvrage ce qu'il importe de savoir sur les lampes à incandescence. Son Livre est à la fois historique, théorique, descriptif et pratique. Dans la Partie théorique, on doit signaler le résumé des lois du rayonnement; par contre, on ne trouve aucun des photomètres modernes ni des appareils destinés à mesurer l'intensité moyenne sphérique. L'importance de cette dernière notion pour la comparaison des lampes est cependant bien mise en valeur. Dans la Partie descriptive, citons encore une omission : le remplacement des fils de platine par des fils en alliage d'acier au nickel, étudié par M. Guillaume, pour amener le courant au filament en traversant la paroi de verre.

Le Livre est divisé en sept Chapitres. Après avoir exposé les principes généraux de l'étude théorique des lampes, l'auteur donne l'histoire des lampes à incandescence électriques. Le Chapitre III est consacré à la lampe à filament de carbone, à sa fabrication et à l'examen de ses propriétés caractéristiques. Ensuite viennent les lampes à filament métallique, osmium et tantale, puis la lampe Nernst. Enfin le dernier Chapitre traite de l'arc au mercure, qui est considéré comme une lampe à vapeur incandescente.

On trouve dans cet Ouvrage les principaux résultats numériques des expériences qui ont été publiées ces dernières années en France et à l'étranger.

La construction des machines électriques, par Julien DALÉMONT,
1 vol. in-8° relié toile. Paris, Béranger, éditeur.

Cet Ouvrage est consacré à l'étude exclusive des méthodes et des moyens de travail relatifs aux machines électriques.

Son objet est de préparer les débutants à la connaissance des problèmes que doit résoudre le chef d'atelier dans le choix des méthodes de fabrication.

C'est ainsi que l'auteur passe en revue la préparation des tôles, les bobinages, la construction des collecteurs, le montage des armatures; il termine par une revue sommaire des conditions d'organisation et de contrôle des ateliers.

Débarassé de considérations théoriques, ce Volume d'une centaine de pages est d'un caractère essentiellement pratique: la bibliographie est particulièrement documentée et précieuse; les figures et reproductions de photographies nombreuses ne constituent pas le moindre intérêt de cette publication au point de vue de l'enseignement.

L'électricité considérée comme forme de l'énergie. Les notions fondamentales.

Le potentiel et la quantité d'électricité, par le Lieutenant-Colonel ARIÈS, 1 brochure in-8°. Paris, A. Hermann, éditeur.

Très intéressante brochure de 55 pages dans laquelle l'auteur proteste d'abord contre la tendance des esprits à vouloir expliquer tous les phénomènes physiques et en particulier ceux relatifs à l'électricité par les lois de la Mécanique.

Il signale justement l'anomalie consistant à doter d'une *masse* un fluide impondérable.

Partant de ce point de vue, la thèse du Lieutenant-Colonel Ariès consiste à montrer que le *potentiel* peut être considéré, non plus comme une pure quantité mathématique, mais comme une quantité réellement physique, mesurable, et à en déduire la définition de ce qu'on doit appeler la *quantité d'électricité*.

Cette dernière notion dérive alors du *principe de la conservation de l'électricité* et conduit ainsi à définir (mais non à identifier) la quantité d'électricité comme une sorte d'entropie. Un corps, par suite de cette conception, peut contenir une quantité d'électricité déterminée, tout comme il possède un volume, une température, un potentiel et une entropie déterminés en valeur absolue.

Notes et formules de l'Ingénieur et du Constructeur mécanicien. 15^e édition, 1907, par MM. VIGREUX, MILANDRE et BOUQUET, 1 vol. in-16. E. Bernard, éditeur.

Cette publication aujourd'hui classique n'a plus besoin d'être recommandée.

Il suffit, à propos de l'apparition de la 15^e édition, de signaler les modifications, remaniements et compléments que les éditeurs ont eu soin d'y apporter pour rendre cet important Aide-Mémoire digne de l'accueil que lui réservent toujours les ingénieurs.

Citons dans l'ordre, parmi les matières intéressant les praticiens : les tables trigonométriques à cinq décimales, les centres de gravité, les résistances des pièces chargées en bout, les ressorts à boudin, les formules de Lamé, les turbines (Chapitre refait en entier), les moulins à vent (expériences de Ringelmann), la force élastique des vapeurs d'alcool et d'éther, les pompes compound, les appareils de levage (Chapitre refait en entier), les moteurs à gaz, l'électrochimie (Chapitre nouveau), l'épuration des eaux (Chapitre nouveau), les brevets.



LISTE DES OUVRAGES

OFFERTS A LA SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ÉLECTRICIENS.

(Suite.)

**La Bibliothèque est ouverte aux Membres de la Société, tous les jours
de 2 heures à 5 heures, excepté les dimanches et jours de fêtes,
12, rue de Staël.**

France.

- Commentaire de la Loi sur les distributions d'énergie électrique* (Loi du 15 juin 1906), par Paul BOUGAULT, 2^e édition. Grenoble, A. Gratier et J. Rey, 1907; 1 vol. in-8°, broché. (*Don des éditeurs.*)
- Cours pratique élémentaire d'Électricité industrielle*, par Emile FESQUET, avec 41 problèmes types et 186 figures. Paris, Henry Paulin et C^{ie}, 1907; 1 vol. in-8° raisin, broché. (*Don des éditeurs.*)
- Distribution (La) de l'énergie électrique dans la ville de Grenoble*, par F. JENNY. Grenoble, A. Gratier et J. Rey, 1907; une brochure in-8°. (Publications de *La Houille blanche.*) (*Don de l'auteur.*)
- Électricité (L')*, par Lucien POINCARÉ. Paris, Ernest Flammarion, 1907; 1 vol. in-18, broché. (*Bibliothèque de Philosophie scientifique.*) (*Don de l'éditeur.*)
- Essais des machines à courant continu et alternatif*, suivi des Règlements actuellement publiés concernant les essais des machines, par P. BOURGUIGNON. Paris et Liège, Ch. Béranger, 1907; 1 vol. in-8°, relié toile. (*Conférences faites à l'École supérieure d'Électricité.*) (*Don de l'éditeur.*)
- Notions générales sur la télégraphie sans fil*, par R. de VALBREUZE. Paris, édité par l'*Éclairage électrique*. 1907; 1 vol. in-8° raisin, broché. (*Don de l'éditeur.*)
- Télégraphie (La) sans fil et la Télé mécanique à la portée de tout le monde*, par E. MONIER, Préface du D^r E. BRANLY, 2^e édition revue et augmentée. Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1907; 1 vol. petit in-8° broché. (*Don des éditeurs.*)

Vingt leçons pratiques sur les courants alternatifs, par E. NICOLAS, avec 30 problèmes types et 222 figures. Paris, Henry Paulin et C^e, 1907; 1 vol. in-8° raisin, broché. (*Don des éditeurs.*)

Étranger.

A Short talk on pioneer electric lighting with projector views, by W. S. ANDREWS. Reprinted from Minutes of the 22^d annual Meeting Association Edison Illuminating Companies, Thousand Islands, N. Y., 1906; 1 brochure in-8°. (*Don de M. Charles J. Russell.*)



BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ INTERNATIONALE

DES

ÉLECTRICIENS.

SOMMAIRE.

Admission de Membres titulaires, p. 378. — État actuel de l'accumulateur fer-nickel (M. **Ju-mau**), p. 379. — Remarques sur l'accumulateur Edison (M. **P. Janet**), p. 427. — Fixation de l'azote atmosphérique (M. **Blondin**), p. 429.

BIBLIOGRAPHIE, p. 430.

OUVRAGES OFFERTS, p. 432.

COMPTE RENDU

DE LA

RÉUNION ORDINAIRE MENSUELLE

du mercredi 3 juillet 1907 ⁽¹⁾.

PRÉSIDENCE DE M. H. BECQUEREL, PRÉSIDENT.

La séance est ouverte à 8^h35^m du soir et le procès-verbal de la dernière Réunion mensuelle adopté.

Il est donné connaissance des Ouvrages offerts pour la Bibliothèque de la Société (*voir* p. 432) et des demandes d'admission suivantes :

(¹) La Société n'est pas solidaire des opinions émises par ses membres dans les discussions, ni responsable des Notes ou Mémoires publiés dans le *Bulletin*.

MM.

Bons (Henri-Georges), Capitaine d'Artillerie; 15, rue Victor-Bart, à Versailles (Seine-et-Oise). — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Brissaud (Jean-Abel), Secrétaire général de la *Société Biterroise de Force et Lumière*; 1, rue Mairan, à Béziers (Hérault). — Présenté par MM. Leblanc et Armagnat.

Pornin (Robert), Ingénieur civil des Mines, Ingénieur au *Métropolitain de Paris*; 162, boulevard Magenta, à Paris. — Présenté par MM. Grosselin et Armagnat.

Ces candidats sont élus membres titulaires de la Société internationale des Électriciens.

M. le PRÉSIDENT fait part du décès de MM. *Sautter* et *Trépied*; il en exprime les regrets de la Société.

Au nom de la Société, M. le PRÉSIDENT adresse des remerciements à MM. Locherer, Vignes et Pornin qui ont bien voulu diriger les visites des Membres de la Société aux ateliers et aux travaux du Métropolitain.

L'ordre du jour appelle les Communications techniques.

ÉTAT ACTUEL DE L'ACCUMULATEUR FER-NICKEL.

M. JUMAU. — « Lorsqu'en 1901-1902 parurent les premiers renseignements sur l'accumulateur Edison, on put croire que l'accumulateur au plomb avait vécu, tout au moins pour les applications qui exigent des énergies massiques élevées. Il n'en fut malheureusement rien et nous constatons actuellement que les éléments alcalins fer-nickel n'existent pas encore sur le marché. Il y a même plus, puisque, comme nous le verrons par la suite, les trois principaux constructeurs qui avaient entrepris la fabrication industrielle de ces éléments ont abandonné, ou suspendu cette fabrication.

» Pourtant, les travaux sur la question n'en continuent pas moins et même on peut dire qu'ils commencent seulement à devenir intéressants, car ce n'est que tout récemment que l'on a tenté quelques recherches un peu méthodiques sur les phénomènes dont le nouvel élément est le siège. Or, il ne paraît guère possible, dans une question aussi délicate, d'apporter des perfectionnements certains si l'on ne connaît pas d'une façon suffisamment intime le fonctionnement de l'élément.

» Votre troisième Commission, présidée par M. Poincaré, a pensé qu'il vous intéresserait peut-être d'être mis au courant de ces travaux, des raisons pour lesquelles le nouvel accumulateur n'est pas encore en état de lutter avec l'accumulateur au plomb et de quelques problèmes à résoudre pour amener à une connaissance plus approfondie du nouveau couple. Elle a pensé aussi qu'une Communication de ce genre pourrait amorcer une discussion utile et elle m'a, en conséquence, chargé de ce travail.

» Pour mettre au point l'accumulateur alcalin fer-nickel, nous l'étudierons d'abord au point de vue théorique, puis au point de vue pratique et nous passerons enfin à l'examen des résultats obtenus et à la discussion de ces résultats.

I. — L'ACCUMULATEUR FER-NICKEL AU POINT DE VUE THÉORIQUE.

» Ce n'est pas d'aujourd'hui que l'on a songé à substituer aux électrodes en plomb d'autres électrodes et à l'eau acidulée sulfurique, d'autres électrolytes dans la constitution des couples réversibles. La première critique adressée à l'accumulateur au plomb, alors qu'il venait seulement de naître, a été celle de son poids atomique (207) et, par suite, de son équivalent électrochimique (1,072 mg par coulomb) trop élevé. En n'envisageant que la question du poids des électrodes, on a immédiatement pensé qu'il était irrationnel de s'adresser à un métal dont il faut théoriquement 3,86 g pour fournir 1 ampère-heure, tandis que certains métaux n'exigent, pour la même quantité d'électricité, qu'un poids plus de trois fois moindre.

» De cette constatation sont nés tous les couples réversibles dérivés de l'accumulateur au plomb et ne différant de celui-ci que par le remplacement de la cathode-plomb par un autre métal : zinc, cuivre, cadmium, etc. L'élément au zinc, qui reçut quelques applications, avait sur l'élément au plomb une supériorité incontestable quant à l'énergie massique, puisqu'il n'engageait plus que 1,22 g de zinc par ampère-heure et qu'en outre il donnait une force électromotrice plus élevée d'environ 0,5 volt. Malgré cette supériorité l'élément dut être abandonné, non seulement à cause des actions locales dont il était le siège, le zinc s'attaquant à circuit ouvert, mais encore à cause de la solubilité du métal de la cathode que les charges successives, effectuées dans les conditions de la pratique, ne ramenaient pas dans son volume initial. Le dépôt irrégulier et quelquefois inadhérent provoquait des courts-circuits et des chutes de matière inadmissibles.

» Sans vouloir parler ici de tous les couples qui ont été proposés et dont l'étude nous entrainerait trop loin, nous signalerons, en laissant de côté les accumulateurs à gaz et ceux aux sels haloïdes, une deuxième catégorie de couples, celle des accumulateurs à électrolyte alcalin. Le principal élément de cette catégorie, la pile réversible zinc-potasse-oxyde de cuivre, avait lui aussi des avantages incontestables sur l'accumulateur au plomb, au point de vue de la capacité massique, puisque non seulement la cathode, mais encore l'anode (oxyde de cuivre), possède un équivalent électrochimique

inférieur à celui de l'anode correspondante de ce dernier accumulateur. Au lieu de 4,46 g de PbO^2 par ampère-heure, il suffit ici en effet de 2,85 g de Cu^2O . Malheureusement, la faible force électromotrice (0,8 volt) était cause de ce fait que l'énergie massique n'était pas supérieure à celle de l'élément au plomb. De plus, l'élément avait de graves défauts : non seulement la cathode-zinc donnait les mêmes inconvénients que dans l'élément au zinc et à l'acide sulfurique, mais encore l'oxyde de cuivre, partiellement soluble dans la potasse, apportait de graves troubles dans le fonctionnement, par suite du dépôt de cuivre métallique sur la cathode.

» Dans ces différents éléments, on remarque que l'électrolyte participe aux réactions chimiques. Comme tel, il doit être considéré lui-même comme une matière active et doit être en quantité déterminée pour assurer ces réactions. Une classe très intéressante d'éléments, qui a été indiquée en 1893 par un de nos collègues, M. G. Darrieus ⁽¹⁾, est celle des éléments que l'on a appelés depuis *accumulateurs à électrolyte invariable*. Dans ces accumulateurs l'électrolyte ne prend pas part aux réactions chimiques et n'intervient en somme que comme véhicule des ions. Les réactions chimiques aux électrodes se traduisent simplement par des phénomènes d'oxydation et de réduction.

» C'est dans cette catégorie que se place l'accumulateur alcalin fer-nickel sur lequel E.-W. Jungner ⁽²⁾ et Edison ⁽³⁾ prirent leurs premiers brevets au commencement de 1901.

» Comme dans l'accumulateur au plomb, les matières actives employées ici sont insolubles dans tous leurs états, conditions qu'il est indispensable de réaliser pour avoir un accumulateur réellement industriel.

» Les faibles équivalents électrochimiques des matières actives du nouvel élément le rendent intéressant *a priori*, plus peut-être encore que l'invariabilité de l'électrolyte. L'avantage pratique que l'on peut retirer de cette dernière qualité est en effet surtout une diminution de la quantité d'électrolyte ; or, celle-ci ne peut pas être réduite au delà d'une limite déterminée par la porosité des matières actives et

(1) Brevet français n° 233083 du 27 septembre 1893.

(2) Brevet suédois n° 13567 du 22 janvier 1901.

(3) Brevet français n° 307864 du 5 février 1901.

par les intervalles que l'on est obligé de laisser soit entre les plaques, soit au fond du bac pour éviter les courts-circuits intérieurs pouvant provenir soit de chute de matière active, soit de déformation des plaques. Cependant l'invariabilité de l'électrolyte peut donner à l'élément, ainsi qu'on le verra, certaines qualités de fonctionnement.

» Sur la composition des matières actives de l'accumulateur alcalin fer-nickel, l'incertitude régna dès le début, Jungner admettant que la matière active de la cathode est l'hydroxyde $\text{Fe}(\text{OH})^2$, Edison prétendant que c'est le fer métallique. De même, tandis que ces derniers auteurs donnaient à la matière active positive la composition NiO^2 , certains autres auteurs, parmi lesquels de Michalowski, lui attribuaient la composition Ni^2O^3 . Les réactions pendant la décharge étaient encore plus imprécises.

» D'après le brevet suédois de Jungner, on devait avoir, à la décharge et à la charge, les réactions indiquées par l'équation réversible



» D'après d'autres hypothèses, la matière active négative devait passer, pendant la décharge, de l'état de fer métallique à l'état d'oxyde. La matière active positive, d'après de Michalowski, devait se réduire de Ni^2O^3 à NiO .

» Si nous considérons tout d'abord la plaque positive, il semble bien que la composition de la matière active fin de charge doit être un hydrate du sesquioxyde Ni^2O^3 . Il n'y a pas de doute en ce qui concerne la composition avant la première charge, car c'est l'hydrate $\text{Ni}^2\text{O}^3, 3\text{H}^2\text{O}$ qui se produit par le traitement de l'hydroxyde $\text{Ni}(\text{OH})^2$ par le chlore ou les hypochlorites (1).

» Étant donné que le degré d'oxydation de la matière active positive avant la première charge est au maximum Ni^2O^3 , faut-il croire que,

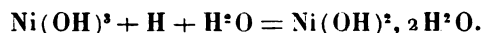
(1) En pratique même, on constate par l'analyse que, dans le sesquioxyde formé, la proportion de NiO^2 par rapport à NiO est un peu plus faible que celle qui correspond au sesquioxyde NiO^2 , NiO , une partie de l'oxyde restant à l'état NiO . Ainsi, en oxydant l'hydroxyde de nickel par l'eau de Javel, nous avons trouvé, pour le composé obtenu séché à 100°, un rapport $\frac{\text{NiO}^2}{\text{NiO}}$ égal à 0,925 au lieu de 1,21 théoriquement, d'après la composition Ni^2O^3 . Comme proportion d'eau dans l'hydrate, nous avons trouvé 2 mol H^2O ($\text{Ni}^2\text{O}^3, 2\text{H}^2\text{O}$), lorsque la température de séchage ne dépasse pas 100°C.

après cette première charge, cet oxyde se transforme en peroxyde NiO^2 ? Pour justifier cette hypothèse, Edison et Marsh se basaient sur ce fait que le sesquioxyde Ni^2O^3 , préparé chimiquement, ne donne pas la même force électromotrice qu'une plaque positive chargée.

» Julian Zedner ⁽¹⁾ a montré que, s'il en est ainsi, c'est parce que le contact entre le sesquioxyde et son support est imparfait ⁽²⁾.

» Cet auteur s'assura d'ailleurs, par l'analyse, que l'oxyde formé à la positive à la fin de charge est bien Ni^2O^3 , en mesurant le rapport $\frac{\text{Ni}}{\text{O}}$ du nickel à l'oxygène actif et en trouvant la valeur 7,4 très voisine de la valeur théorique 7,34, tandis que, pour le peroxyde NiO^2 , cette valeur serait 3,67. En ce qui concerne la teneur en eau, cet expérimentateur trouva une composition variable entre $\text{Ni}^2\text{O}^3, \text{H}^2\text{O}$ et $\text{Ni}^2\text{O}^3, 11\text{H}^2\text{O}$, selon les conditions de séchage.

» Dans une étude plus récente ⁽³⁾, Julian Zedner a démontré que l'hydrate de sesquioxyde qui constitue la matière active positive est l'hydrate à 3 mol d'eau $\text{Ni}^2\text{O}^3, 3\text{H}^2\text{O}$ ou $\text{Ni}^2(\text{OH})^6$ et qu'à la décharge cet hydrate ⁽⁴⁾ se transforme en hydrate d'oxyde $\text{Ni}(\text{OH})^2, 2\text{H}^2\text{O}$ en absorbant par conséquent de l'eau d'après l'équation



» En ce qui concerne la matière active négative, lorsqu'on part du sesquioxyde et qu'on opère sa réduction par l'hydrogène à température élevée, la réduction va jusqu'au fer métallique, mais n'est pas complète; elle dépend de la température et est limitée, en outre, par la tension de la vapeur d'eau produite. Si la réduction de Fe^2O^3 en Fe était complète, on devrait obtenir une perte en poids de 30 pour 100;

⁽¹⁾ *Zeitschrift f. Elektrochemie*, t. XI, 17 novembre 1905, p. 809.

⁽²⁾ Même en comprimant une pastille de sesquioxyde sur une lame de platine, on n'obtient comme force électromotrice, en présence d'une lame de zinc dans la potasse à 25 pour 100, que 1,40 volt (le platine seul donne 1,50 volt), tandis que, dans les mêmes conditions, une plaque positive chargée donne 1,77 volt. Au contraire, si l'on assure un contact parfait, en déposant électrolytiquement du nickel sur la lame de platine, puis en transformant par le chlore ce nickel en sesquioxyde, on trouve bien la même force électromotrice qu'avec la positive chargée.

⁽³⁾ *Zeitschrift f. Elektrochemie*, t. XII, 6 juillet 1906, p. 463.

⁽⁴⁾ La composition hydratée de la matière active positive permet d'expliquer qu'on ne peut obtenir cette matière en calcinant certains sels comme le nitrate car, dans ce cas, on obtient le sesquioxyde Ni^2O^3 qui ne s'hydrate que très difficilement dans l'eau.

cette perte devrait s'abaisser à 10 pour 100 dans le cas de la réduction de Fe^2O^3 en FeO . En pratique, nous avons pu constater une diminution de 16,2 pour 100 pour une réduction au rouge sombre et une diminution de 21,3 pour 100 à une température plus élevée. En général, on doit donc obtenir un mélange de fer et d'oxyde ferreux et même d'oxyde magnétique. A la charge, ces oxydes passeraient à l'état de fer. Ainsi pourrait-on expliquer que l'électrode-fer n'est pas immédiatement utilisable après la réduction par l'hydrogène mais doit recevoir une charge préalable.

» Lorsque l'on constitue la matière active en partant de l'oxyde magnétique Fe^3O^4 ou des oxydes des battitures qui sont, comme on sait, des combinaisons en proportions variables de FeO et de Fe^2O^3 , on soumet ces oxydes à la réduction électrolytique. Dans ce cas, la réduction va-t-elle, sinon complètement, du moins partiellement, jusqu'au fer métallique? D'après Max Roloff (¹), cette réduction se produit et d'autant plus facilement qu'on a débarrassé magnétiquement l'oxyde magnétique de l'oxyde FeO et surtout de l'oxyde Fe^2O^3 qui l'accompagnent toujours.

» D'après O. Faust (²), l'hydrate ferrique lui-même, lorsqu'il est fraîchement précipité, peut être réduit par le courant en fer métallique. Des mesures des forces électromotrices cathodiques il conclut que, pendant la décharge, le fer s'oxyde en hydroxyde ferrique.

» Si l'on examine les courbes de décharge, on trouve en général plusieurs paliers. Ceux-ci sont plus ou moins nets suivant que l'on décharge plus ou moins lentement. Ils affectent également des valeurs variables selon qu'ils sont provoqués par l'une ou l'autre des électrodes.

» Si l'on suit, par exemple, la tension cathodique en décharge, en prenant comme électrode auxiliaire une électrode en sesquioxyde de nickel, on trouve l'allure donnée par la courbe (³) marquée *e* — de la figure 1.

» Pour expliquer les deux paliers AB et CD, certains auteurs ont

(¹) *La Revue électrique*, t. IV, 15 octobre 1905, p. 208.

(²) *Zeitschrift f. Elektrochemie*, t. XIII, 26 avril 1907, p. 161.

(³) Les deux paliers sont ici très nets, car la plaque essayée était une plaque à grande surface.

admis que le premier est donné par la transformation du fer métallique en oxyde ferreux, et le second, par la transformation de l'oxyde ferreux en oxyde ferrique. D'autres ont supposé que, pendant la décharge, l'oxyde ferreux se transforme en oxyde ferrique avec formation intermédiaire d'oxyde ferroso-ferrique.

» En étudiant les courbes de rétablissement de la force électromotrice pendant la décharge, O. Faust a trouvé que la force élec-

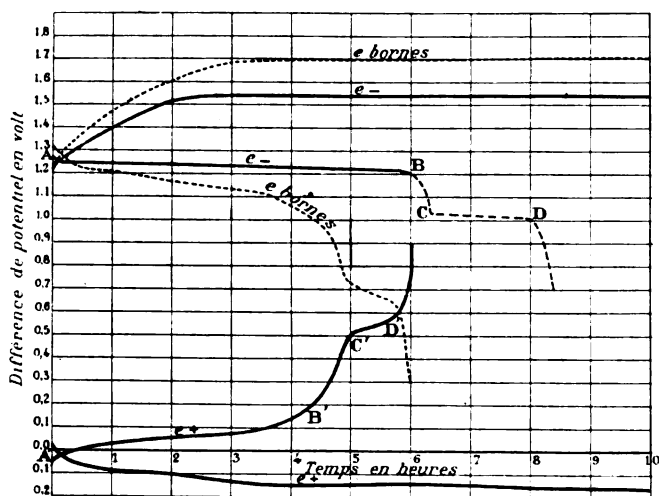


Fig. 1.

tromotrice qui correspond au premier palier est celle de l'hydrogène. Il en conclut que cette première partie de la décharge est donnée par l'hydrogène occlus dans le fer. C'est un fait d'ailleurs depuis longtemps connu que le fer occlut de grandes quantités d'hydrogène, pouvant dépasser 0,1 pour 100 en poids.

» La mesure de la force électromotrice, pendant le deuxième palier et après celui-ci, a amené O. Faust à conclure que ce deuxième palier est donné par l'oxydation du fer en hydroxyde ferrique.

» En suivant, avec la même électrode auxiliaire, la tension anodique en décharge, on trouve dans certains cas, une courbe à deux paliers, telle que celle représentée figure 1 sous la désignation $e +$.

» On remarque ici que les tensions relatives à ces deux paliers A'B' et C'D' sont plus différentes que dans les courbes dues à la cathode-fer.

» Pour expliquer ce second palier, on a souvent admis que Ni^2O^3 se transformait d'abord en oxyde intermédiaire Ni^3O^4 , lequel passait, lors du deuxième palier, à l'état de NiO . Dans ce cas, la première phase de la réaction ne s'accorderait plus, ainsi qu'on le verra par la suite, avec l'équation d'Helmholtz qui paraît confirmer la réduction directe de Ni^2O^3 en NiO .

» D'après J. Zedner ⁽¹⁾, le deuxième palier serait dû à l'oxygène occlus dans la positive. Ce deuxième palier est d'autant plus accentué que l'intensité de décharge est plus faible. Aux forts régimes, il tend à disparaître. Pour démontrer que le deuxième palier est bien dû à l'oxygène occlus, cet auteur a déchargé la positive sous pression réduite; il a alors trouvé une diminution d'importance du deuxième palier. Il a obtenu les mêmes résultats en chauffant plusieurs heures à 80° C. l'anode dans la potasse. Il a aussi constaté que c'est principalement le graphite additionné à la matière active qui permet l'occlusion de l'oxygène.

» La courbe de tension aux bornes en décharge est la résultante des courbes de tension anodique et de tension cathodique. Quand l'anode limite la capacité, ce qui est le cas le plus fréquent, on ne constate dans la courbe de tension aux bornes que le deuxième palier dû à l'anode. C'est ce qu'indique la courbe marquée *e-bornes* de la figure 1.

» L'étude thermodynamique de l'accumulateur alcalin fer-nickel n'a pas encore été complètement faite. Pour calculer la force électromotrice du couple d'après l'équation d'Helmholtz

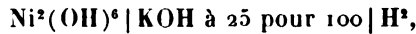
$$E = \frac{W}{23091 a} + T \frac{dE}{dT},$$

il faudrait connaître exactement la chaleur W (en calories gr.-d.) dégagée par les réactions chimiques, ainsi que le coefficient de température $\frac{dE}{dT}$. Il n'a pas encore été publié de déterminations de ce dernier en ce qui concerne la phase de décharge qui correspond à l'oxydation du fer et à la réduction du sesquioxyde de nickel Ni^2O^3 en oxyde NiO . C'est là une lacune qu'il conviendrait de combler.

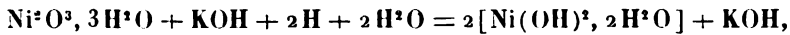
» Mais J. Zedner a déterminé ce coefficient pour l'anode en pre-

⁽¹⁾ *Zeitschrift f. Elektrochemie*, t. XII, 6 juillet 1906, p. 463.

nant une électrode auxiliaire hydrogène. Il a trouvé un coefficient négatif de $-0,0007$ volt par degré entre 10° et 65° C. pour le couple



c'est-à-dire pour la première phase de décharge, si l'on admet, avec O. Faust, qu'à la cathode c'est d'abord l'hydrogène occlus qui constitue la matière active. La réaction de décharge étant ici



la chaleur dégagée est, d'après les données de Thomsen,

Oxydation de H en H^2O	69000 calories (gr.-d.)	
Réduction de $\text{Ni}^2\text{O}^3, 3\text{H}^2\text{O}$ en $2\text{Ni}(\text{OH})^2$...	600	—
Chaleur totale dégagée.....	69600	—

» En remplaçant W par cette valeur (¹) et $\frac{dE}{dT}$ par $-0,0007$, on trouve, pour E à 10° C., $E = 1,308$ volt, alors que la mesure indique $1,305$ volt. On remarquera qu'on a considéré l'hydrate $\text{Ni}(\text{OH})^2$ et non $\text{Ni}(\text{OH})^2, 2\text{H}^2\text{O}$ indiqué par J. Zedner comme étant celui qui se forme en décharge. Mais la différence de chaleur dégagée doit être évidemment très petite.

» Pour la deuxième phase de décharge de la cathode, en admettant avec O. Faust l'oxydation du fer en oxyde ferrique, on trouve pour les chaleurs dégagées,

Oxydation de Fe en Fe^2O^3	63700 cal	
Réduction de $\text{Ni}^2\text{O}^3, 3\text{H}^2\text{O}$ en $2\text{Ni}(\text{OH})^2$	600	—
Chaleur totale dégagée.....	64300	—

soit une différence de 5300 cal en moins que lors de la première phase. Si l'on suppose que le coefficient de température est le même, ces 5300 cal correspondent à une force électromotrice de $0,11$ volt en moins. Dans ses mesures directes, O. Faust n'a trouvé que $0,05$ volt environ de différence entre les forces électromotrices des deux phases. Mais il faut dire que les coefficients de température ne peuvent pas être supposés égaux *a priori*. Il y aurait donc lieu de

(¹) Nous remarquerons ici que la réduction à l'anode donne lieu à un dégagement de chaleur, fait important, puisqu'il y a de ce fait augmentation légère de la force électromotrice.

déterminer ce coefficient pour le couple fer-potasse-sesquioxyde de nickel.

» Nous avons vu que la potasse ne prend pas part aux réactions chimiques. Malgré cela, il y a à considérer une variation de concentration de l'électrolyte dans l'intérieur des pores de la matière active.

» Une première cause de cette variation est la formation des hydrates, qui nécessite l'intervention de l'eau dans les réactions. Si cette cause existe et si l'eau intervient dans les réactions, il est évident que l'on doit trouver pour la force électromotrice du couple une variation en fonction de la concentration de la potasse.

» Nous ne connaissons pas encore de mesures précises de cette variation de la force électromotrice du couple fer-potasse-sesquioxyde de nickel, en fonction de la concentration de la potasse, et c'est là un point qu'il serait important d'élucider; mais J. Zedner a fait cette étude pour l'anode. Déterminant la force électromotrice du couple $\text{Ni}^2\text{O}^3, 3\text{H}^2\text{O}-\text{KOH}-\text{H}^2$ pour différentes concentrations, il a trouvé à la température de 11°C . :

Concentration de la potasse.		Force électromotrice en volts.	Différence en millivolts.
En molécule KOH par molécule H^2O .	En pour 100 de KOH.		
0,1	23,7	1,314	11
0,2	38,4	1,303	
0,3	48,3	1,293	

soit sensiblement une différence de 10,5 millivolts pour une différence de concentration de 0,1 mol KOH par molécule d'eau. Comme le potentiel anodique baisse lorsque la concentration de la potasse croît, cela indique que de l'eau est enlevée à l'électrolyte pendant le fonctionnement. Ainsi ce fait paraît en accord avec l'équation de décharge donnée par J. Zedner et d'après laquelle $\text{Ni}^2\text{O}^3, 3\text{H}^2\text{O}$ passe à l'état de $2[\text{Ni}(\text{OH})^2, 2\text{H}^2\text{O}]$ ou $2(\text{NiO}, 3\text{H}^2\text{O})$. C'est, d'ailleurs, en appliquant l'équation de Dolezalek

$$E_1 - E_2 = \frac{0,861}{2} 10^{-4} T \frac{d \log \text{nép. } p}{dc} (c_1 - c_2),$$

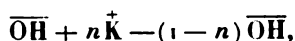
dans laquelle E_1 et E_2 sont les forces électromotrices en volts aux concentrations c_1 et c_2 , T étant la température absolue et p la tension de vapeur, et en introduisant dans cette équation la différence mesurée 10,5 millivolts pour une différence de concentration de

0,1 mol KOH par molécule d'eau, que J. Zedner a trouvé que les 2 mol NiO formées en décharge doivent renfermer 3 mol H²O de plus que la molécule Ni²O³.

» Indépendamment de la variation de concentration due aux réactions chimiques (formation des hydrates), il y a lieu de considérer celle qui est due au transport des ions. Prenons, par exemple, l'électrode positive en décharge. Sans tenir compte de l'eau engagée dans les réactions pour la formation d'hydrates comme ceux dont il a été question ci-dessus, l'équation de décharge peut se traduire par



c'est-à-dire qu'il y a apparition d'un ion $\overline{\text{OH}}$ pour une charge (96271 coulombs). Cet ion doit reformer, avec un ion $\overset{+}{\text{K}}$ qui apparaît à l'anode en décharge, 1 mol KOH; mais il faut remarquer que la vitesse de migration des ions $\overset{+}{\text{K}}$ et $\overline{\text{OH}}$ n'est pas la même; de telle sorte que, si l'on appelle n le facteur de transport de l'ion $\overset{+}{\text{K}}$, pour une charge (96271 coulombs), n ions $\overset{+}{\text{K}}$ apparaîtront à l'anode, tandis que $(1 - n)$ ions $\overline{\text{OH}}$ y disparaîtront. Au total, il doit apparaître :



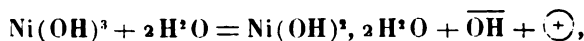
soit n molécules-grammes KOH pour 96271 coulombs. Par ampère-seconde, cela correspond à $\frac{n\text{KOH}}{96271}$. Comme n est égal à 0,26 environ d'après les Tables d'Hittorf, il en résulte un enrichissement de $\frac{0,26}{96271} = 0,0000027$ molécule-gramme de KOH par ampère-seconde ou de 55,9.0.0000027.3600 = 0,5442 g de KOH par ampère-heure.

» Inversement, la cathode s'appauvrira en décharge de la même quantité de potasse par le fait de la migration des ions.

» En charge, les phénomènes se produiront en sens contraire et c'est alors la cathode qui s'enrichira et l'anode qui s'appauvrira en potasse.

» La variation 0,544 g KOH par ampère-heure est exclusivement relative au transport des ions. Si l'on considère qu'en outre à l'anode il y a absorption de 2 mol d'eau par 96271 coulombs pour la formation de l'hydrate Ni(OH)², 2H²O indiqué par J. Zedner,

d'après l'équation



il en résulte qu'en décharge il y a absorption à l'anode de

$$\frac{2.18.3600}{96271} = 1,346 \text{ g d'eau par ampère-heure.}$$

» Avec de la potasse à 20 pour 100, une disparition de 1,346 g d'eau est équivalente à un enrichissement de

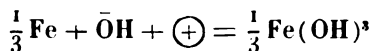
$$\frac{1,346.20}{80} = 0,3365 \text{ g de potasse.}$$

» Dans ce cas, il apparaît donc en décharge ou il disparaît en charge à l'anode, au total

$$0,5442 + 0,3365 = 0,8807 \text{ g KOH par ampère-heure.}$$

» A la cathode, si la première phase de décharge est donnée par l'hydrogène occlus passant à l'état d'eau, d'après $\text{H} + \overline{\text{OH}} + \oplus = \text{H}^2\text{O}$, on produira par ampère-heure 0,673 g d'eau, ce qui correspond, pour la potasse à 20 pour 100, à un appauvrissement de 0,168 g KOH en décharge ou un enrichissement de la même quantité en charge. En y ajoutant les 0,544 g dus au transport des ions, on trouve $0,168 \text{ g} + 0,544 \text{ g} = 0,712 \text{ g}$ de variation par ampère-heure au lieu de 0,881 à l'anode. Si cette hypothèse est exacte, on doit donc trouver que la concentration moyenne de l'électrolyte augmente en décharge et diminue en charge de $0,881 \text{ g} - 0,712 \text{ g} = 0,169 \text{ g KOH}$ par ampère-heure pendant la première phase.

» Si, lors de la deuxième phase due à la cathode, on admet que le fer passe à l'état d'hydroxyde ferrique $\text{Fe}^2(\text{OH})^2$, les réactions à l'anode étant les mêmes que ci-dessus, on a à la cathode



et comme l'eau n'intervient pas, il n'y a à considérer que l'appauvrissement en décharge ou l'enrichissement en charge de 0,544 g par ampère-heure. Dans ce cas la concentration moyenne de l'électrolyte doit augmenter en décharge et diminuer en charge de $0,881 \text{ g} - 0,544 \text{ g} = 0,337 \text{ g KOH}$ par ampère-heure.

» En fait, les variations de concentration, dans les pores des matières actives, sont moindres que celles qui viennent d'être calculées, à cause des effets de la diffusion qui tend à égaliser ces concentrations avec celle de l'électrolyte intermédiaire. Mais les variations de concentration moyenne de l'électrolyte doivent être exactement celles calculées, si les réactions de décharge sont bien celles supposées. On comprend donc le gros intérêt qu'il y aurait à déterminer, par des expériences précises, ces variations dans les différentes phases de décharge.

» Les variations de concentration au voisinage des électrodes permettent d'expliquer l'allure des courbes de décharge. Ainsi la baisse lente de tension anodique en décharge (courbe de la figure 1) s'explique très bien, indépendamment de l'augmentation de résistance intérieure, par l'augmentation de concentration à l'intérieur des pores de la matière, augmentation qui, comme nous l'avons vu ci-dessus, provoque une diminution de force électromotrice.

» Lorsqu'on étudie les courbes de charge, on trouve que la courbe de tension cathodique présente, comme à la décharge, deux paliers (que l'on ne distingue nettement qu'en chargeant très lentement) qui correspondent, d'après les essais de O. Faust, aux mêmes forces électromotrices que celles des paliers de décharge. Les actions chimiques à la cathode sont donc réversibles.

» A l'anode, J. Zedner a démontré que les réactions de la première phase de décharge sont seules réversibles. Lorsque, pendant la deuxième phase de la décharge (l'oxygène occlus agissant comme matière active), on passe brusquement à la charge, le potentiel anodique atteint immédiatement celui qui correspond à la première phase. Pendant la deuxième phase de l'anode, les réactions ne seraient donc pas réversibles. Sur la figure 1 on a tracé les courbes de charge (e bornes, $e +$ et $e -$) après la décharge limitée par la positive.

» En pratique, pour des intensités de charge normales, la courbe de la tension aux bornes s'élève rapidement pour atteindre sa valeur maxima correspondant au dégagement gazeux aux deux électrodes. Ceci peut être expliqué par la résistance élevée des matières actives et par la faible différence entre les forces électromotrices dues au fer et à l'hydrogène, à la cathode.

» La résistance intérieure du couple fer-potasse-sesquioxyde de nickel dépend de la résistivité des matières actives et de celle de la potasse. Cette dernière est négligeable devant la première. C'est ainsi qu'on peut trouver, pour l'électrolyte, une résistance de l'ordre du centième de la résistance intérieure de l'élément. A la concentration de 20 pour 100, la solution de potasse a, en effet, une résistivité d'environ 2 ohms-cm. L'oxyde de fer et celui de nickel ont une résistivité considérablement plus élevée. Le premier est cependant un peu plus conducteur que le second et c'est pour cette raison que, comme on le verra plus loin, on introduit dans la matière active négative moins de graphite ou de particules conductrices que dans la matière active positive.

» La résistance intérieure du couple fer-potasse-sesquioxyde de nickel augmente vers la fin de la décharge. Quand l'électrode positive limite la capacité, l'augmentation n'est pas très considérable (40 pour 100 d'après M. Janet). Elle le devient, au contraire, à la fin de la décharge de la cathode-fer. M. U. Schoop (1) a trouvé pour la cathode une augmentation de résistance dans le rapport de 1 à 4 entre le commencement et la fin de la décharge. L'augmentation est d'ailleurs d'autant plus grande que l'intensité de décharge est élevée. La dilution de la potasse dans les pores de la matière active négative pendant la décharge permet d'expliquer en partie cette augmentation de résistance intérieure.

» Si l'on pouvait obtenir une utilisation théorique des matières actives, il faudrait à l'anode 3,088 g Ni^2O^3 ou 4,095 g $\text{Ni}^2(\text{OH})^6$ par ampère-heure en admettant la transformation en $\text{Ni}(\text{OH})^2$ à la décharge. A la cathode, 1 ampère-heure engagerait 0,697 g de fer en supposant comme plus haut la transformation directe en sesquioxyde. Si le fer s'oxydait en oxyde ferreux, c'est 1,046 g de fer qui serait engagé par ampère-heure.

» Dans la première hypothèse, la quantité totale de matière active par ampère-heure doit être au moins 4,095 g + 0,697 g = 4,792 g au lieu de 8,32 g dans l'accumulateur au plomb. Mais il faut remarquer que, par suite de la mauvaise conductibilité des matières de l'accumulateur fer-nickel, il faut additionner celles-ci de matières

(1) *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXVI, 1905, p. 769.

conductrices (20 pour 100 environ pour la négative et 40 pour 100 environ pour la positive). Le poids total de matière active devient ainsi, dans ce cas, 6,569 g par ampère-heure.

» Pour la première phase de décharge de la cathode, si l'on suppose que l'hydrogène est la matière active, il n'en faut que 0,037 g par ampère-heure et la quantité totale de matière active par ampère-heure est encore un peu plus faible que dans le cas précédent.

» C'est une supériorité de l'accumulateur fer-nickel sur l'accumulateur au plomb d'exiger, théoriquement, moins de matière active; mais on verra que, en pratique, elle n'est qu'apparente, car il faut faire intervenir, outre un coefficient d'utilisation (qui dépend de l'état physique, de la porosité, de la conductibilité), le poids des grilles et le poids des accessoires de l'élément. Or, on verra que le rapport entre le poids de matière active et le poids total de l'élément est beaucoup plus faible que dans l'élément au plomb. Ainsi comprendra-t-on que ce dernier élément puisse donner une énergie massique plus grande, sa tension moyenne de décharge étant, d'autre part, plus élevée d'au moins 60 pour 100 que celle de l'élément fer-nickel.

» Un facteur qui paraît avoir une grosse importance sur le coefficient d'utilisation de la matière active est la température. M. U. Schoop ⁽¹⁾ a trouvé que la température n'influe pas sur la capacité de l'anode-sesquioxyde de nickel. Avec un élément dont la capacité était limitée par l'anode, M. Janet a trouvé une augmentation de 0,54 pour 100 par degré. M. U. Schoop a trouvé à la cathode-fer une diminution de capacité de près de 3 pour 100 par degré centigrade au-dessous de la température de 35°C. pour le régime de décharge de 5 heures à cette température, ce qui correspond à une augmentation, c'est-à-dire à un coefficient de température de 5,5 pour 100 par degré. On constate en même temps un relèvement très important de la tension cathodique, lorsque la température croît. Avec des cathodes à briquettes de matière active, on peut même constater que, tandis qu'à la température ordinaire (15°C.) et pour un régime un peu rapide, la courbe de tension cathodique baisse

(1) *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXVI, 1905, p. 769.

constamment sans transition bien marquée entre les deux phases de décharge, si l'on chauffe l'élément à 40° C. pendant la décharge, la courbe se relève en même temps qu'elle s'allonge considérablement et les deux paliers se distinguent très nettement, suivis même d'un troisième à une tension beaucoup plus faible. Cette influence de la température peut s'expliquer par la dilution de la lessive imprégnant la cathode et qui se produit, comme on l'a vu précédemment, pendant la décharge. La température agissant sur le coefficient de diffusion, en accélérant celle-ci, diminue à la fois la polarisation due à la baisse de concentration et la résistance intérieure.

» Il n'est guère possible d'étudier ici au point de vue général le rendement, les actions locales et la durée des plaques. Il existe encore trop peu d'expériences sur ces points. Nous aurons l'occasion de revenir sur quelques-uns de ces points quand nous examinerons les résultats obtenus. La détermination du rendement est d'ailleurs très délicate à cause de la difficulté de distinguer la fin de la charge. Bien avant la fin de celle-ci, en effet, survient le dégagement gazeux et avec lui apparaît la tension maxima correspondant à la séparation de l'électrolyte en ses ions. Ce qui est certain, c'est que le rendement est faible et d'autant plus que l'on exige de l'élément une plus grande capacité. Il est probable que, par suite de la résistance intérieure élevée des matières actives, les actions électrochimiques ne pénètrent que très difficilement en profondeur, d'où ce faible rendement. Il serait très intéressant de déterminer séparément le rendement de chacune des électrodes.

» Dans la discussion des résultats obtenus nous pourrions constater que le rendement de l'élément fer-nickel est très faible lorsqu'on demande à l'élément toute sa capacité. Si réellement la première phase de décharge est donnée par l'hydrogène occlus, on peut comprendre que le rendement en quantité soit très faible, car, pour occlure la quantité maxima d'hydrogène, il faut évidemment donner de longues surcharges. Le rendement en énergie, qui est égal à celui en quantité multiplié par le rapport $\frac{e_{\text{moy.}}}{e'_{\text{moy.}}}$ entre les tensions moyennes de décharge et de charge, est encore plus faible comparativement, car ce rapport ne dépasse pas 0,7 dans l'élément fer-nickel, alors que, dans les mêmes conditions, il atteint facilement 0,8 dans l'accumulateur au plomb.

» Les actions locales, qui donnent lieu à une oxydation de la cathode et à une réduction de l'anode à circuit ouvert, augmentent avec la température et dépendent de la pureté de la potasse.

» Comme on le voit, la théorie de l'accumulateur alcalin fer-nickel est loin d'être complète. Les réactions que nous avons indiquées sont les plus probables; mais elles ne sont pas encore démontrées d'une façon absolument certaine. Bien des recherches restent encore à faire pour les vérifier.

II. — ÉTUDE PRATIQUE DE L'ACCUMULATEUR FER-NICKEL.

» *Électrodes.* — Au point de vue de la construction, on peut classer les plaques en deux catégories, comme les plaques de l'accumulateur au plomb. Dans les unes, que l'on peut appeler *plaques à grande surface*, la matière active est généralement formée aux dépens du support et affecte la forme d'une couche mince sur une surface très développée. Les autres peuvent être désignées sous le nom de *plaques à oxydes rapportés* et comportent des pastilles ou briquettes de matière active ayant une certaine épaisseur et disposées d'une façon convenable dans un support. Jusqu'ici cette dernière catégorie a été la plus importante, car c'est avec des plaques à briquettes de matière active qu'ont été obtenus les meilleurs résultats.

» La catégorie des plaques à grande surface mérite cependant d'être signalée, car, étant donnée l'influence considérable et néfaste de la résistance trop élevée de la matière active sur les différents facteurs de fonctionnement, on pourrait avoir intérêt à fabriquer des plaques de cette catégorie. Une des difficultés est d'obtenir une couche de matière active suffisamment adhérente. Il faut remarquer, en effet, qu'en ce qui concerne l'anode, cette couche doit se conserver presque indéfiniment, puisque, dans la potasse pure, le support en nickel est, pour ainsi dire, informable, contrairement à ce qui se passe avec les anodes en plomb qui, comme on sait, se peroxydent peu à peu dans l'acide sulfurique étendu et pur. Pour les anodes-nickel, il y a à tenir compte également du gonflement de la matière active qui cause peu à peu la chute de celle-ci.

» Jungner ⁽¹⁾ a indiqué un procédé de formation des anodes en nickel et qui consiste à charger la plaque de nickel comme anode dans une solution très étendue renfermant un mélange de chlorure de sodium et d'hydroxyde alcalin en proportions dépendant de la densité du courant, de la température, etc. Dans ces conditions, il se forme une couche verte ou noir verdâtre, dure et adhérente, d'oxychlorures de nickel tels que NiOCl. En continuant la charge pendant 6 à 8 heures à une densité de courant de 1 ampère par centimètre carré et dans une solution alcaline à 20 ou 30 pour 100, on transforme en oxyde actif (nous avons vu que cela doit être un hydrate de sesquioxyde) l'oxychlorure ainsi formé. L'attaque de l'anode peut être rendue irrégulière en munissant la cathode de pointes ou en masquant certaines parties de l'anode avec une couche isolante.

» H.-M. Levylier ⁽²⁾ rend d'abord poreuse la plaque de nickel à former, puis la charge comme anode en regard d'une cathode en nickel dans une solution d'azotate double de nickel et d'ammoniaque. Il opère à l'ébullition et avec une densité de courant de 0,5 à 1 ampère par décimètre carré d'anode.

» F.-E. Polzeniusz et R. Goldschmidt ⁽³⁾ forment les plaques positives et négatives, rendues poreuses par dépôt électrolytique, dans une solution telle que le carbonate de soude et le ferrocyanure de potassium qui servirait également d'électrolyte à l'élément formé.

» Pour obtenir électrolytiquement le métal poreux, ils ⁽⁴⁾ électrolysent une solution à 10 pour 100 d'acide fluosilicique dans laquelle on a dissous un peu de métal. Comme anode on prend une lame de métal à précipiter et comme cathode une mince toile de fer. On charge à 1 ampère par décimètre carré jusqu'à obtention d'une épaisseur de dépôt de 0,5 mm.

» P. Gouin ⁽⁵⁾ dépose d'abord sur la plaque une mince couche d'azotate de nickel préalablement dissous. En chauffant de 500°

(1) Brevet anglais n° 1684 du 22 janvier 1901.

(2) Brevet français n° 330332 du 22 novembre 1904.

(3) Brevet français n° 330838 du 20 janvier 1905.

(4) Brevet anglais n° 778 du 14 janvier 1905.

(5) Brevet français n° 360664 du 4 mars 1905.

à 600° C., il transforme le nitrate en sesquioxyde anhydre. Après brossage pour enlever les parties non adhérentes, la plaque serait enfin chargée comme anode dans un bain alcalin à une densité de courant de 1 à 2 ampères par décimètre carré, pendant 100 à 300 heures. Ce procédé ne nous a cependant jamais donné que de très faibles capacités, sans doute à cause de la difficulté d'hydratation de l'oxyde de nickel anhydre ainsi formé.

» Pour fabriquer les plaques du deuxième type on introduit, dans des supports inattaquables de forme spéciale, la matière active en général comprimée préalablement en brique. Deux grosses difficultés se présentent alors; elles sont dues, d'une part, à la mauvaise conductibilité des oxydes employés, inconvénient qui ne se rencontre pas avec les oxydes de plomb, et, d'autre part, à ce fait que la potasse n'attaquant pas ces oxydes n'agit pas comme liant, contrairement à l'acide sulfurique en présence des oxydes de plomb. Aussi, pour rendre la conductibilité suffisante et pour obtenir la solidité nécessaire à la constitution des briquettes, doit-on additionner la matière de particules inertes mais conductrices et comprimer sous forte pression.

» En ce qui concerne la matière positive, on prend toujours pour la constituer l'hydroxyde ou l'hydrate de sesquioxyde de nickel. On fabrique spécialement celui-ci, car les oxydes du commerce sont anhydres et, ne s'hydratant pas en présence de l'électrolyte, ne deviennent pas actifs. On sait qu'Edison prépare d'abord l'hydroxyde de nickel par voie chimique (précipitation du nitrate de nickel par la magnésie) puis qu'il transforme $\text{Ni}(\text{OH})^2$ en $\text{Ni}^2(\text{OH})^6$ par un courant de chlore. On emploie la magnésie ou la chaux parce qu'avec la potasse on a un précipité trop volumineux et difficile à laver. Jungner part du nickel qu'il transforme en hydroxyde par un procédé électrolytique. Cet hydroxyde vert $\text{Ni}(\text{OH})^2$ est oxydé en $\text{Ni}^2(\text{OH})^6$ soit directement par le courant, soit par voie chimique comme Jungner l'a fait plus récemment.

Carl Roderbourg (1) garnit les supports d'une pâte obtenue en malaxant des sels de nickel avec de l'eau. Les plaques sont ensuite plongées dans une lessive alcaline qui transforme peu à peu les sels

(1) Brevet anglais n° 11276 du 18 mai 1903.

en hydroxyde. La couche d'hydroxyde ainsi produite est enfin transformée en sesquioxyde par la charge en anode dans la solution alcaline.

» Ce procédé avait été appliqué antérieurement par Rudolf Gahl ⁽¹⁾.

» Dans les premières recherches relatives à l'obtention de la matière active négative, Edison a remarqué que les oxydes de fer, à part le protoxyde difficile à obtenir et à manier, ne sont pas réductibles par le courant. Aussi fit-il ses premières briquettes négatives en monosulfure de fer qu'il réduisit par le courant. Dans la suite, il remplaça le monosulfure de fer par le mélange de fer métallique, de protoxyde et d'oxyde magnétique obtenu en chauffant le sesquioxyde Fe^2O^3 dans un courant d'hydrogène. Cette réduction fut d'abord faite à 260°C .; plus récemment, Edison la fit à 480°C . Afin d'obtenir un produit non pyrophorique, le courant d'hydrogène était maintenu quelque temps après refroidissement. Il se peut, en effet, que l'hydrogène occlus dans les pores empêche l'oxydation rapide de la masse.

» Ce dernier procédé a la préférence d'Edison qui, cependant, essaya aussi de constituer la matière active négative à l'aide d'oxydes des battitures obtenus en chauffant, au rouge blanc, des feuilles minces de fer et en détachant puis pulvérisant les écailles produites. Edison reconnut aussi qu'en calcinant modérément l'oxalate de fer, la formation de la négative ainsi fabriquée est beaucoup plus difficile qu'en partant du sesquioxyde de fer réduit par l'hydrogène.

» Max Roloff ⁽²⁾ a étudié la réduction par le courant [des oxydes des battitures qui sont, comme on le sait, un mélange de protoxyde FeO , de sesquioxyde Fe^2O^3 et d'oxyde magnétique Fe^3O^4 . Contrairement aux affirmations d'Edison, qui considère que le protoxyde seul est réductible par le courant, Max Roloff trouve que l'oxyde magnétique est également réductible à condition de le débarrasser, par voie magnétique, des autres oxydes qui l'accompagnent. On peut également traiter de la même façon le mélange résultant de la réduction du sesquioxyde par l'hydrogène. Les essais de l'inventeur

(1) Brevet allemand n° 142714 du 6 décembre 1900.

(2) Brevet allemand n° 162199 du 13 août 1903.

montrent que les cathodes constituées avec l'oxyde magnétique ainsi purifié possèdent une capacité beaucoup plus élevée que celles fabriquées avec l'oxyde brut. Ce procédé est employé par la Société *Accumulatoren-Fabrik A.-G. Jungner* ⁽¹⁾ construisit ses premières cathodes-fer à l'aide des oxydes obtenus en chauffant, au feu de forge, des plaques de fer que l'on plongeait ensuite dans l'eau, puis que l'on martelait pour en détacher les oxydes. Plus tard, la *Kölner Accumulatoren-Werke Gottfried Hagen* ⁽²⁾, qui exploite les brevets Jungner pour l'Allemagne, réduisit, à la température de 380° C., l'oxyde des battitures, finement pulvérisé, par l'hydrogène avant de l'employer.

» Pour augmenter la conductibilité et l'activité des matières actives, on a eu d'abord recours au graphite en écailles. Edison, dans ses premières électrodes, prenait une proportion en poids de quatre parties de graphite pour six d'oxyde de nickel et de deux parties de graphite pour huit d'oxydes de fer.

» Plus tard, Edison remplaça à la cathode le graphite par du cuivre ou de l'argent.

» Il mélangea de l'oxyde de cuivre ammoniacal aux oxydes de fer réduits par l'hydrogène, dans la proportion de 33 de cuivre pour 66 de fer, en ajoutant ensuite à la masse 20 pour 100 de graphite. Au lieu de cuivre, il employa ensuite l'amalgame de cuivre dans la proportion de 30 parties de cuivre, 6 de mercure et 64 de fer, le cuivre et le mercure étant introduits à l'état d'oxyde de cuivre ammoniacal et d'oxyde de mercure. Ceux-ci sont réduits par le fer et, puisqu'ils sont plus facilement réductibles que ce dernier métal, on n'a pas à craindre leur oxydation en décharge.

» Plus récemment Edison ⁽³⁾ a employé le mercure seul (20 pour 100 de mercure pour 73,9 de fer) et la *Kölner Accumulatoren-Werke Gottfried Hagen* a additionné d'un peu d'oxyde de cadmium l'oxyde Fe^3O^4 réduit par l'hydrogène. Quant à la Société *Accumulatoren Fabrik A.-G.* elle ajoute des écailles de cuivre à son oxyde de fer magnétique purifié.

(1) Conférence de E. Sieg, le 25 janvier 1905, à la Société électrotechnique de Cologne.

(2) Communication à la Société allemande Bunsen, 2 et 3 juin 1905.

(3) *Electrotechnische Zeitschrift*, t. XXVI, 1905, p. 769.

» Max Roloff et Harry Wehrin ⁽¹⁾ augmentent l'activité de la matière active positive en partant de l'hydroxyde de nickel précipité en présence d'une petite quantité d'oxyde d'argent ($\frac{1}{20}$ d'atome d'argent pour 1 atome de nickel). L'argent agirait comme substance catalytique. Il serait indispensable, en effet, de précipiter simultanément les deux oxydes, ce qui donne une poudre noire et non verte comme l'hydroxyde de nickel, le mélange d'oxyde d'argent et d'hydroxyde de nickel ne fournissant pas les mêmes résultats. La modification noire de l'hydroxyde de nickel obtenue ainsi serait un mélange des hydrates $\text{Ni}(\text{OH})^2 + \text{H}^2\text{O}$ et $\text{Ni}(\text{OH})^2 + 2\text{H}^2\text{O}$. La Société *Accumulatoren-Fabrik A.-G.* construit des positives d'après ce procédé.

» Dans le but d'augmenter la conductibilité du graphite additionné aux matières actives et aussi d'en diminuer l'attaque on a proposé de le métalliser.

» C'est ainsi qu'on peut employer un charbon poreux, tel que le charbon de bois platiné. Jungner et la *Kölner Accumulatoren-Werke Gottfried Hagen* ⁽²⁾ préfèrent employer le graphite nickelé. Ce nickelage se fait par galvanoplastie en disposant le graphite dans une corbeille en toile fine de nickel servant de cathode en regard d'une anode en nickel, les écailles ou grains de graphite étant souvent remués.

» Ces mêmes inventeurs ont constaté que le graphite en écailles n'assure pas toujours une conductibilité suffisante. Ils ⁽³⁾ obtiennent de meilleurs résultats en mélangeant d'abord intimement l'oxyde avec du graphite en poudre extrêmement fine puis en additionnant le graphite en écailles à la masse. Pour l'anode, ils indiquent comme proportions les plus convenables en poids : 32 parties d'oxyde, de nickel, 4 parties de graphite pulvérisé et 14 parties de graphite en paillettes.

(1) Brevet allemand n° 159393 du 7 juin 1903.

(2) Brevet allemand *Kölner Acc.-W. G. Hagen* n° 158800 du 17 octobre 1903 et brevet français Jungner n° 346380 du 20 septembre 1904.

(3) Brevet allemand *Kölner Acc.-W. G. Hagen* n° 161802 du 13 novembre 1903 et brevet Jungner suédois du 31 octobre 1903 et anglais n° 21403 du 5 octobre 1904.

» Plus récemment encore, ces inventeurs ⁽¹⁾ ont remplacé les écailles de graphite par des écailles de nickel. On obtient celles-ci en déposant électrolytiquement du nickel sur des cathodes en aluminium ou en zinc. En trempant ensuite ces plaques dans une solution, alcaline ou acide, n'attaquant que le métal sous-jacent, le nickel se détache en écailles plus ou moins grandes.

» La Société *Accumulatoren-Fabrik A.-G.* utilise, paraît-il, une sorte particulière de graphite en poudre.

» Comme Max Roloff et Harry Wehrlin, Edison ⁽²⁾ a trouvé que l'addition de certains oxydes augmente l'activité de la matière active positive. Il a obtenu une augmentation de capacité de 20 pour 100 par l'addition d'une petite quantité (6 à 9 pour 100) d'hydroxyde de bismuth soit mélangé intimement à l'hydroxyde de nickel précipité, soit précipité en même temps que lui. Il y a là une action catalytique inconnue, l'oxyde de bismuth employé seul n'étant pas actif.

» Dans l'emploi du graphite en écailles, Edison signale comme inconvénient une augmentation progressive de la résistance de contact et avec elle une diminution de la capacité. Avec des écailles de nickel, un bon contact nécessiterait l'emploi de pressions de contact excessivement élevées, par suite de la formation d'une pellicule très mince d'oxyde non conducteur. Cet inconvénient n'existerait pas d'après Edison ⁽³⁾ avec des écailles de cobalt qui assureraient le contact même sans compression.

» Cependant, comme ce métal s'attaque un peu, Edison le remplace par un alliage de 60 de cobalt pour 40 de nickel, alliage qui ne s'attaque pas. On mélange 8 parties d'hydroxyde de nickel, pulvérisé de façon à passer dans un tamis à 8 mailles par centimètre et à être arrêté au tamis à 24 mailles, et deux parties d'écailles de cet alliage. On ajoute une matière visqueuse (mélasse par exemple) ⁽⁴⁾.

» Pour préparer les écailles de cobalt ou d'alliage cobalt-nickel, Edison indique deux moyens. Un premier, purement chimique ⁽⁵⁾, consiste à sublimer, dans un courant d'acide carbonique, du chlo-

(1) Brevet allemand Kölner Acc.-W. G. Hagen n° 170338 du 12 novembre 1904.

(2) Brevet anglais n° 26948 du 10 décembre 1904.

(3) Brevet anglais n° 1923 du 30 mars 1905.

(4) Brevet anglais n° 1927 du 30 mars 1905.

(5) Brevet américain n° 821627 du 30 mars 1905.

rure de cobalt seul ou mélangé de chlorure de nickel. Les cristaux ainsi obtenus sont traités par une solution chaude de potasse qui les transforme en hydroxyde, en leur laissant leur structure cristalline. Cet hydroxyde séché est réduit à chaud par un courant d'hydrogène; on obtient alors des écailles de cobalt métallique ou de l'alliage cobalt-nickel. Pour obtenir ces écailles par voie électrolytique⁽¹⁾, on dépose d'abord sur une cathode, en cuivre ou en nickel, une pellicule extrêmement mince de zinc, en électrolysant du sulfate de zinc. Après lavage on dépose ensuite le cobalt, ou l'alliage cobalt-nickel, en électrolysant une solution de sulfate double d'ammonium et de cobalt, seul ou mélangé de sulfate double d'ammonium et de nickel (Edison indique ici, comme meilleure composition, celle qui correspond à 70 pour 100 de Co et 30 pour 100 de Ni). La cathode étant plongée dans un acide dilué qui dissout le zinc, la pellicule de cobalt ou d'alliage cobalt-nickel se détache en écailles que l'on broie et tamise. Enfin, ces écailles lavées sont recuites et parfaitement nettoyées en les chauffant au rouge dans l'hydrogène.

» D'après F. Herkenrath⁽²⁾, dans sa dernière construction, Edison emploierait comme conducteur du nickel très divisé en forme de fils.

» Ayant obtenu le mélange des oxydes et des particules conductrices, il convient d'examiner de quelles façons ce mélange est introduit dans les électrodes. On sait que, dans sa première fabrication⁽³⁾, Edison étalait à l'aide d'un rouleau le mélange des matières humecté d'eau ou de potasse sur une plaque de verre.

» La feuille obtenue était détachée et brisée en morceaux puis recylindrée.

» En opérant ainsi, on recouvrait, sans les écraser, les particules de graphite de matière active. Le mélange était ensuite comprimé sous forme de briquettes à la pression de 300 kg par centimètre carré. Ces briquettes étaient introduites dans des poches en acier nickelé (*fig. 2*) très minces et finement perforées. Ces poches étaient enfin disposées dans une grille en acier nickelé à alvéoles rectangu-

(1) Brevet français n° 362692 du 25 janvier 1906.

(2) *Centralblatt f. Accumulatoren*, t. VII, 1^{er} mars 1906, p. 53.

(3) *Revue électrique*, t. I, 15 janvier 1904, p. 2.

lares et les contacts entre les poches et la grille étaient assurés par une forte compression. Par cette compression, en même temps que les bords des cuvettes étaient rabattus, les cuvettes s'élargissaient et serraient dans les alvéoles de la grille comme il est indiqué dans la

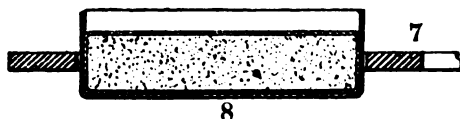


Fig. 2.

figure 3. Rappelons ici que l'acier nickelé employé par Edison avait 0,075 mm d'épaisseur pour les cuvettes et 0,56 mm pour la grille. Pour une briquette de 12,5 mm × 75 mm × 2 mm, la cuvette était

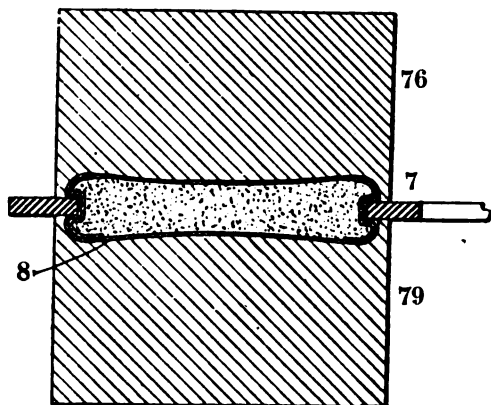


Fig. 3.

perforée, sur ses deux faces, de 6500 trous dont la section représentait environ les $\frac{20}{100}$ de la surface totale. La figure 4 représente la grille et la figure 5 la plaque garnie de ses poches de matière active. Cette grille à 24 alvéoles a comme dimensions 235 mm × 120 mm.

» Comme le gonflement de la matière active (en particulier de la matière positive) peut déformer les cuvettes et créer des courts-circuits, Edison ⁽¹⁾ donna à la surface des cuvettes une forme un peu concave (*voir la fig. 3*). Il renforça aussi ces parois des cuvettes en produisant sur elles des ondulations transversales ⁽²⁾.

(1) Brevet américain n° 723 449 du 28 novembre 1902.

(2) Brevet allemand n° 151 446 du 7 janvier 1903.

» Les premières plaques fabriquées par Jungner différaient peu comme construction de celles d'Edison. Ici les matières actives

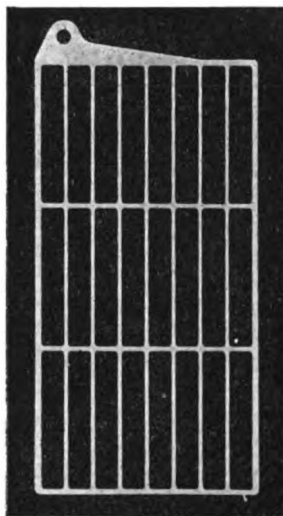


Fig. 4.

étaient comprimées dans des poches, à la pression de 400 kg par cm². Après quelques tentatives de fabrication de plaques à grande sur-

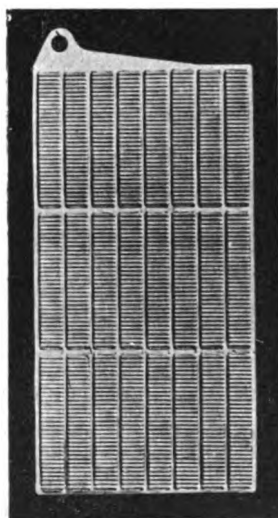


Fig. 5.

face, Jungner et la *Kölner Accumulatoren-Werke Gottfried Hagen* sont revenus aux plaques à briquettes en matière comprimée mais

ont remplacé l'acier nickelé par le nickel pur. Aussi bien nickelé que soit l'acier, en effet, il ne résiste pas indéfiniment à l'attaque. Le nickel pur, au contraire, ne s'attaque pas ; mais comme il n'a pas la solidité de l'acier on doit le prendre d'épaisseur un peu plus forte. Dans les plaques Jungner, les briquettes, après introduction dans les poches, ne sont pas reliées à une grille par compression comme dans les plaques Edison mais on les réunit par une bande repliée en nickel que l'on comprime sur le côté des poches. En produisant électrolytiquement les feuilles de nickel servant à la confection des cuvettes, la Société *Accumulatoren-Fabrik A.-G.* est arrivée à une épaisseur de 0,03 mm.

» Comme les électrodes-nickel ont, à dimensions égales, une capacité plus faible que les électrodes-fer, Edison ⁽¹⁾ a monté les éléments avec un nombre d'électrodes positives double de celui des électrodes négatives. Deux électrodes-nickel voisines sont en contact tandis qu'entre chaque électrode-nickel et les électrodes-fer on place des séparateurs isolants. Cette disposition permet de n'avoir qu'un seul type de plaque, semblable pour les deux électrodes, positive et négative. Elle donne, en outre, une meilleure utilisation de la matière active positive que si l'on construisait des plaques positives d'épaisseur double, car la conductibilité est meilleure et la diffusion se fait mieux. La Société *Accumulatoren-Fabrik A.-G.* préfère prendre les positives un peu plus épaisses que les négatives.

» A. Dinin et M.-U. Schoop ⁽²⁾ ont proposé une construction des plaques un peu différente de celles d'Edison et de Jungner. Dans ce procédé, représenté dans les figures 6, 7 et 8, une plaque comprend deux feuilles métalliques, présentant des surfaces perforées séparées par des parties pleines, dans lesquelles on produit un certain nombre d'ondulations repoussées vers l'intérieur et séparées par des vides de même grandeur. Les briquettes de matière active se logent entre les parties perforées. L'assemblage se fait de telle façon que les ondulations d'une des feuilles pénètrent dans les fentes de l'autre et *vice versa*.

» Entre les parties perforées on forme ainsi des passages de section

(1) Brevet anglais n° 26948 du 10 décembre 1904.

(2) Brevet français n° 336867 du 4 août 1905.

circulaire dans lesquels il suffit d'introduire des tiges pour rendre l'électrode rigide. La Société *Accumulatoren-Fabrik A.-G.* a adopté une construction du même genre.

» Dans le but d'éviter la chute de matière active qui survient

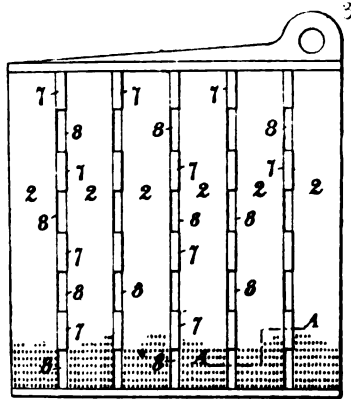


Fig. 6.

ordinairement, A. Dinin et M.-U. Schoop ⁽¹⁾ ont proposé d'envelopper d'abord les briquettes de matière active dans une toile métallique très fine en fil de fer, de nickel ou d'acier nickelé, puis d'introduire cet ensemble dans des poches en tôle, de même métal, munies

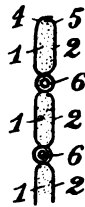


Fig. 7.

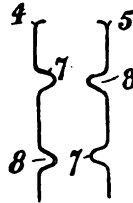


Fig. 8.

de trous de diamètre assez grand et obtenues par estampage, de façon à éviter les rugosités.

» C'est également pour éviter les chutes de matière active que Harry Wehrlin ⁽²⁾ a proposé de boucher les perforations des cuvettes à l'aide de lames minces, en métal inattaquable. On sait, en effet, que lorsqu'on utilise comme conducteurs intermédiaires les mem-

(1) Brevet français n° 360612 du 27 novembre 1905.

(2) Brevet allemand n° 462200 du 23 août 1903.

branes métalliques minces, elles ne se polarisent pas, mais agissent comme diaphragmes, en laissant passer les lignes de courant par leurs pores impénétrables à la matière active. En pratique on réalise cette disposition en mélangeant à la matière active des lames minces d'épaisseur ne dépassant pas 0,001 mm et de surface de 1 à 2 mm².

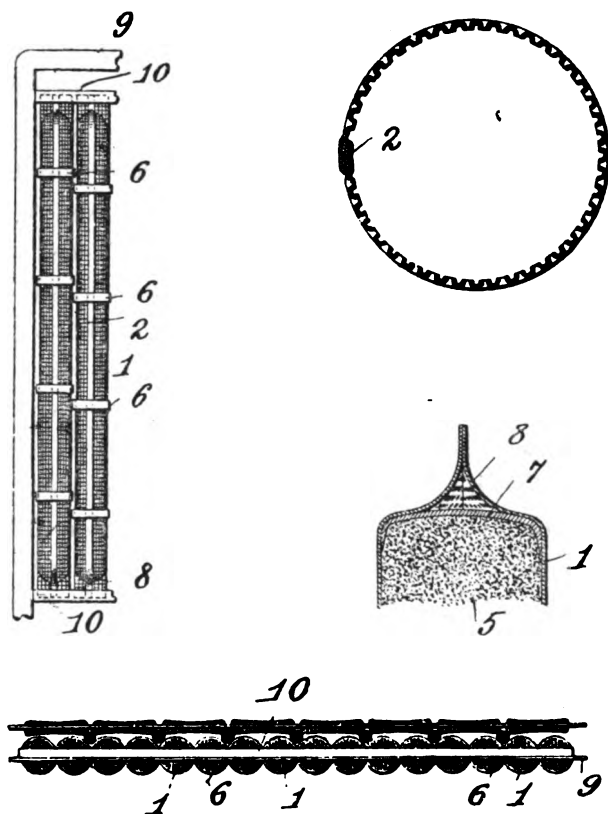


Fig. 9, 10, 11 et 12.

Par la compression, ces lames viennent s'appliquer contre les perforations des poches et s'opposent à la chute de matière autre que la petite quantité fixée sur les lames minces et extérieurement.

» La disposition des électrodes, en forme de plaques, a été récemment abandonnée par Edison (¹), du moins pour les plaques positives. Edison constitue actuellement celles-ci en assemblant dans un support des électrodes élémentaires composées d'un tube en tôle d'acier plaqué d'alliage nickel-cobalt; cette tôle a 0,1 mm d'épaisseur

(¹) Brevet français n° 362691 du 25 janvier 1906.

et est perforée. Les figures 9 et 10 sont des coupes transversale et longitudinale agrandies d'un tube. Dans chaque tube, de 6,5 mm de diamètre intérieur et de 10 cm de longueur, la matière (mélange d'hydroxyde de nickel, glucose et écailles d'alliage nickel-cobalt) est introduite par bourrage. Après fermeture les électrodes élémentaires sont assemblées par pincage dans une grille-support (voir la fig. 11). La figure 12 représente une coupe en plan de deux plaques voisines : une positive à tubes et une négative à pochettes.

» *Montage des éléments.* — Pour assurer l'écartement entre les électrodes, on fait usage, comme dans les accumulateurs au plomb, de séparateurs ou de baguettes isolantes et inattaquables par l'électrolyte. Les différents autres accessoires de montage, tels que tasseaux pour supporter les plaques, cales, etc., doivent être également en matière isolante et inattaquable. Comme matière, on ne doit prendre ni le bois qui est attaqué par la potasse avec formation d'acide oxalique, ni le celluloid qui est aussi fortement attaqué. En revanche, l'ébonite convient très bien, à condition d'être pris suffisamment pur. Il ne doit pas renfermer de caoutchouc factice, qui est attaqué par la lessive alcaline.

» La *Kölner Accumulatoren-Werke Gottfried Hagen* ⁽¹⁾ préconise des séparateurs à base de soie artificielle. Celle-ci est obtenue sous forme de fils en précipitant par l'acide sulfurique une solution de cellulose dans l'oxyde de cuivre ammoniacal. Avec ces fils, on fait des tissus ou des plaques minces comprimées, qui servent de séparateurs. Dans la potasse, il se produit un gonflement de ces fils de soie artificielle.

» A.-E. Berglund ⁽²⁾ propose de placer entre les plaques des feuilles de mica perforées, les perforations étant faites alternativement dans les deux sens de telle façon que, par suite des protubérances, il y ait toujours une couche d'électrolyte entre les plaques et les feuilles de mica. Ces séparateurs, souples et élastiques, légers et isolants seraient inattaquables et moins chers que ceux en ébonite.

(1) Brevet allemand n° 165 223 du 3 août 1904.

(2) Brevet français n° 364 264 du 15 mars 1906.

» Pour les récipients ou bacs, on peut employer le verre ou l'ébonite. Le premier, cependant, s'attaque un peu à la longue en formant un silicate. Il est à remarquer qu'il n'est pas nécessaire que le bac soit isolant, si l'on prend le soin d'éviter tout contact avec les électrodes. Aussi préfère-t-on, en général, prendre des bacs en tôle d'acier. Ces bacs sont moins attaquables, plus solides, moins lourds, moins encombrants et moins chers que les bacs en ébonite.

» La *Kölner Accumulatoren-Werke Gottfried Hagen* ainsi que la Société *Accumulatoren-Fabrik A.-G.* emploient des bacs en acier ordinaire, tandis qu'Edison prend de l'acier nickelé.

» Les premiers bacs en tôle d'acier construits par Edison étaient rendus étanches par une soudure au cadmium ; mais cette soudure s'attaquait peu à peu par la lessive alcaline. Cette attaque était favorisée par le mercure qui tombait des plaques négatives.

» Depuis, Edison a abandonné cette construction. Il a fabriqué des bacs (¹) en tôle d'acier nickelée, dont le fond est relié aux parois latérales par des feuillures pénétrant l'une dans l'autre. L'ensemble est rendu étanche par une simple compression à la presse hydraulique.

» Les parois du bac sont munies d'ondulations horizontales interrompues vers les bords qui restent rectilignes. On augmente ainsi la résistance mécanique de ces bacs.

» Plus récemment, Edison (²) a construit des bacs dont le fond et les côtés sont rapportés et soudés électriquement. Les parois sont toujours ondulées.

» M. U. Schoop (³) a donné quelques renseignements sur la fabrication des vases soudés au chalumeau à gaz tonnant. Il a indiqué aussi un procédé par étirage, qui permet d'avoir des vases en une seule pièce, mais avec angles arrondis. Enfin, il a mentionné la possibilité d'obtenir galvaniquement ces vases en recouvrant, par électrolyse, une âme métallique en cuivre d'un dépôt de 0,2 mm à 0,3 mm de fer. On prend comme électrolyte une solution à 10

(¹) Brevet allemand n° 152177 du 7 janvier 1903.

(²) Brevet anglais n° 26948 du 10 décembre 1904.

(³) *Centralblatt f. Accumulatoren*, t. VI, 1905, p. 33.

pour 100 d'un mélange de sulfate ferreux et de sulfate de magnésie.

» Lorsqu'on fait usage de bacs métalliques, il faut avoir soin d'isoler intérieurement par des séparateurs le bloc de plaques du bac. En outre, il est bon de rendre isolante la surface extérieure du bac en la recouvrant soit d'un émail, soit d'un vernis isolant. Il est

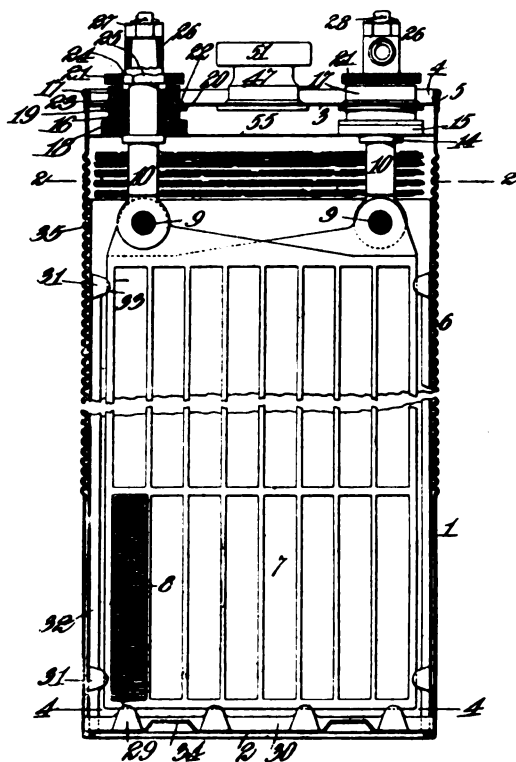


Fig. 13.

à remarquer que ce vernis, employé par Edison, joue un rôle très important en évitant le rayonnement calorifique et en permettant ainsi à l'élément de garder une température relativement élevée, ce qui augmente sa capacité. Cette température, par suite de la surcharge des éléments, dépasse aisément 40°.

» L'électrolyte ordinairement employé est de la potasse à 20 pour 100 de KOH. Une solution plus étendue serait insuffisamment conductrice; une solution plus concentrée attaquerait, à circuit ouvert, l'électrode-fer chargée en donnant des ferrates.

» On sait que la potasse absorbe l'acide carbonique de l'air en donnant du carbonate de potassium moins soluble et moins conducteur que la potasse. On peut éviter cette carbonatation en disposant, à la surface de l'électrolyte, une couche d'huile non saponifiable (huile de vaseline par exemple); mais il se forme, dans ce cas, une mousse abondante pendant la charge et il peut en résulter un danger

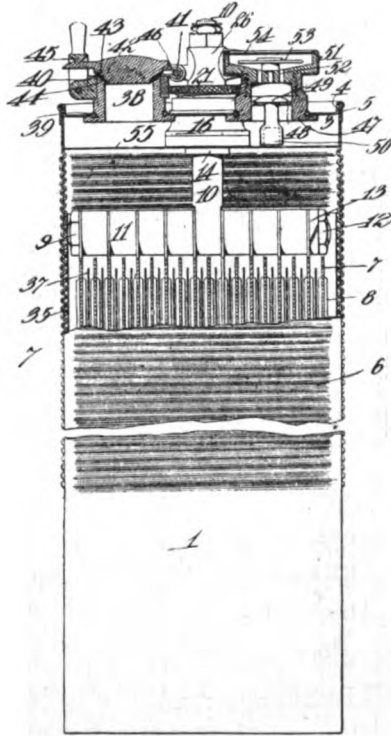


Fig. 14.

d'explosion. On connaît la disposition employée par Edison et qui consiste ⁽¹⁾ en un couvercle hermétique avec soupape pour le dégagement gazeux. Dans ce cas, la carbonatation est évitée, l'électrolyte étant constamment en présence d'hydrogène et d'oxygène seuls. Ce couvercle, d'abord soudé à la soudure au cadmium (75 parties de cadmium et 25 parties d'étain), a été depuis soudé électriquement. Il possède évidemment des ouvertures, avec joints en caoutchouc, pour le passage des deux prises de courant.

⁽¹⁾ *La Revue électrique*, t. I, 15 janvier 1904, p. 2.

» Les figures 13, 14 et 15 représentent le montage d'un élément du type essayé au laboratoire central d'Électricité. Le vase est en tôle d'acier nickelé, très mince et ondulée. Il est doublé intérieurement d'une plaque mince en ébonite pour éviter les courts-circuits. L'écartement des plaques de 1 mm est assuré par des plaques minces rainurées, en ébonite. Les quatre tasseaux sont également en ébonite. Les prises de courant traversent le couvercle au travers d'une garniture étanche et isolante. Sur le couvercle, une ouverture munie d'une fermeture hermétique, avec joint en caoutchouc, sert au remplissage. La quatrième ouverture sert au dégagement gazeux. Elle

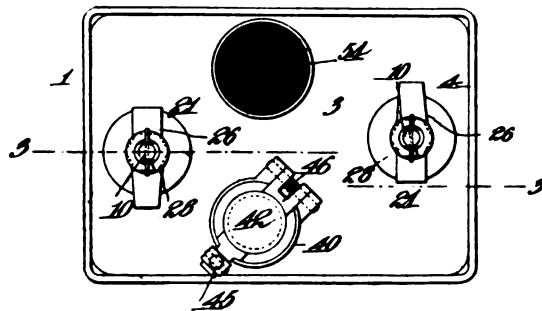


Fig. 15.

comprend un clapet qui ne se soulève que lorsque les gaz ont une certaine pression. Au-dessus du clapet se trouvent des ajutages, puis une plaque (déflecteur) qui diminuent la vitesse des gaz et arrêtent les vésicules liquides. Le tout est contenu dans un capuchon en forme de champignon, fermé par une toile métallique destinée à éviter toute explosion du mélange détonant.

» Le brevet anglais n° 26 948, du 10 décembre 1904, donne quelques détails de construction sur le dernier dispositif de couvercle et de soupape adopté par Edison. Il indique aussi la disposition employée pour le montage de plusieurs éléments dans une caisse.

» Les figures 16, 17 et 18 représentent les détails de montage d'un des derniers modèles de l'élément Edison (celui à électrodes positives doubles à pochettes dont nous avons parlé plus haut). La première figure est une élévation, la deuxième, une coupe en plan et la troisième, une coupe du dispositif de soupape. Sur le couvercle 2 est placée, dans un support 16, une boîte à soupape 15, dont la partie supérieure 17 peut être enlevée. La boîte 15 a un siège 18

pour la soupape 19 avec la queue 20. Cette soupape est de préférence en verre, elle est creuse de sorte qu'elle flotte sur la solution dans

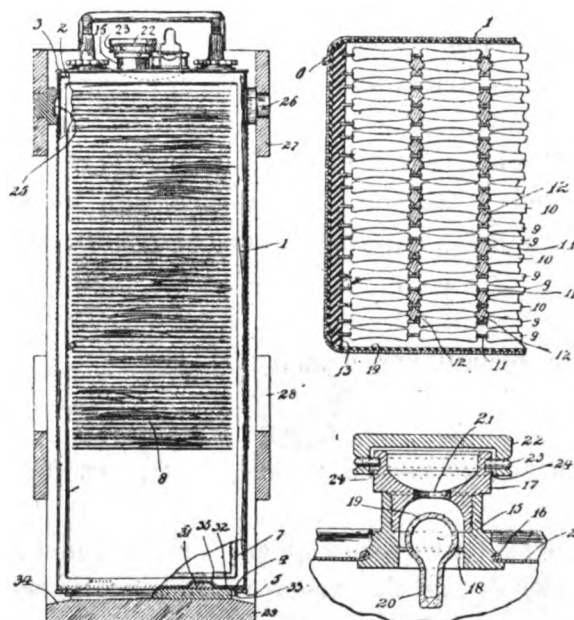


Fig. 16, 17 et 18.

la boîte à soupape. La soupape reste donc ouverte tant qu'il se trouve du liquide dans la boîte 15. La partie supérieure 17 est munie d'un trou 21 pour les gaz et d'un couvercle 22 retenu par les pièces 23 engagées dans une rainure 24 en forme d'anneau. En temps normal, le couvercle reste fermé. Lorsque la pression intérieure devient trop élevée, il se lève un instant et laisse passer les gaz.

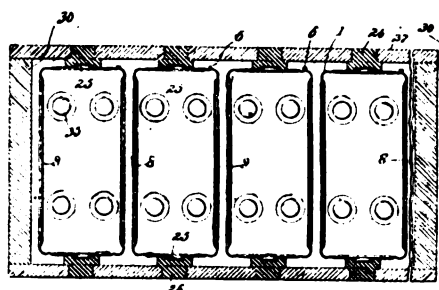


Fig. 19.

» Chaque élément a une proéminence 25 (fig. 19) qui s'engage dans la cheville isolante 26 de la paroi en bois 27 de la caisse. Celle-ci

possède des contacts 28, un fond 29 et des parois extrêmes 30. De cette façon, les éléments se montent simplement et sont bien isolés les uns des autres. Le fond 29 porte des proéminences 31 ainsi qu'une plaque isolante 32 avec rebord 33 pour isoler les éléments du fond de la caisse. L'humidité arrivant sur le bord 33 s'écoule par les plans inclinés 34 du fond.

» La fermeture hermétique employée par la *Kölner Accumulatoren-Werke* est un peu différente. Dans le dispositif de bouchon, on introduit ici du coton de verre pour arrêter les projections de potasse.

» La Société *Accumulatoren-Fabrik A.-G.* se contente de disposer plusieurs toiles métalliques, dans le même but.

III. — RÉSULTATS OBTENUS ET DISCUSSION DE CES RÉSULTATS.

» Je rappellerai tout d'abord qu'en 1903, M. Janet a exposé, ici même, le résultat des essais effectués au laboratoire central d'Électricité sur des accumulateurs Edison. A cette époque, des essais avaient été entrepris simultanément par M. Janet, par notre regretté maître Hospitalier et par M. Hibbert, sur des éléments Edison semblables, renfermant 28 plaques (14 positives et 14 négatives) et dont les constantes sont données dans le Tableau suivant :

	Élément essayé par		
	M. Janet.	M. Hospitalier.	M. Hibbert.
Longueur de l'élément (sens des plaques)...	125 mm	130 mm	129,5 mm
Largeur de l'élément.....	89 —	92 —	89 —
Hauteur du bac.....	» —	302 —	» —
Hauteur totale d'encombrement (y compris les prises de courant).....	340 —	335 —	340 —
Poids des électrodes et du bac.....	6,09 kg	5,925 kg	» kg
Poids de l'électrolyte.....	1,79 —	1,785 —	» —
Poids des connexions.....	0,06 —	0,060 —	» —
Poids total de l'élément.....	7,94 —	7,770 —	8,09 —

» Le poids moyen de l'élément est 7,94 kg. Si l'on considère que le poids total des électrodes est égal à $138 \times 28 = 3864$ g, on trouve

pour la valeur du coefficient d'accessoires $\frac{7940}{3864} = 2,05$. On constate que cette valeur est plus élevée que celle correspondante des accumulateurs légers au plomb; pour ceux-ci, en effet, on a en général 1,5 à 1,6 comme coefficient d'accessoires. La différence obtenue, malgré le rapprochement extrême des plaques, provient évidemment de la faible densité moyenne des électrodes de l'élément Edison.

» Étant donné qu'il y a environ 2 kg de matière active par élément, le poids d'une électrode se décompose comme suit :

Grille en tôle d'acier nickelé	15 gr
24 boîtes en tôle d'acier nickelé	51,6 —
Matière active.....	71,4 —
Total.....	138 —

de sorte que le rapport entre le poids de la matière active et le poids total de la plaque est $\frac{71,4}{138} = 0,517$. Ce rapport est un peu plus faible que celui que l'on constate avec les accumulateurs légers au plomb, pour lesquels on obtient facilement 0,65. C'est encore à la faible densité moyenne de la matière active que l'on doit cette différence, malgré la faible épaisseur de la tôle d'acier nickelé employée pour la grille et pour les cuvettes.

» D'après ces chiffres, le rapport entre le poids total de l'élément et la matière active est de 3,94 pour l'élément Edison, au lieu de 2,46 pour l'élément au plomb. Comme le rapport $\frac{3,94}{2,46} = 1,60$ est plus grand que celui inverse $\frac{8,32}{6,57} = 1,27$ des quantités de matière que nous avons calculées théoriquement, il en résulte que la capacité massique théorique doit être plus faible dans l'accumulateur fer-nickel que dans l'accumulateur au plomb, et *a fortiori* l'énergie massique, puisque la tension moyenne, en décharge, de l'élément fer-nickel est inférieure, d'environ 60 pour 100, à celle de l'élément au plomb. Mais ces conclusions ne sont exactes qu'à condition de supposer le même coefficient d'utilisation de la matière active, ce qui n'est pas démontré.

» D'autre part, nous n'avons pas envisagé ici la phase de dé-

charge de la cathode pendant laquelle l'hydrogène serait la matière active. En l'absence de données sur les coefficients d'utilisation comparés, la comparaison des énergies des deux éléments doit être faite d'après les résultats d'expériences.

» Le Tableau suivant résume ces résultats et les compare aux points de vue poids et encombrement à ceux des meilleurs accumulateurs au plomb pour automobiles des types de 1903-1904.

Type de l'élément.....	Fulmen.			B. G. S.			T. E. M.			Heinz.			Max.			Edison					
																d'après M. Janet.		d'après M. Hibbert.		d'après M. Hospitalier.	
	5.	3.		5.	3.		5.	3.		5.	3.		5.	3.		5.	3.	5.	3.	5.	3.
Durée de la décharge en heures....	5	3																			
Intensité massique, en ampères par kilogramme d'élément...	2,37	3,62		2,72	3,98		2,81	4,02		2,36	3,40		2,73	3,64		4,32	7,20	4,44	7,34	4,35	7,17
Capacité massique correspondante, en ampères-heures par kilogramme d'élément.....	11,85	10,90		13,61	11,95		14,10	12,10		11,79	10,19		13,63	10,91		21,60	21,60	22,20	22,0	21,80	21,50
Différence de potentiel moyenne à la décharge, en volts....	1,95	1,92		1,95	1,92		1,95	1,92		1,95	1,92		1,95	1,92		1,24	1,20	1,24	1,20	1,24	1,20
Puissance massique, en watts par kilogramme d'élément..	4,62	6,95		5,30	7,64		5,47	7,71		4,60	6,53		5,32	6,98		5,35	8,65	5,5	8,8	5,4	8,6
Énergie massique correspondante, en watts-heures par kilogramme d'élément.....	23,11	20,93		26,54	22,94		27,49	23,23		23,00	19,56		26,59	20,94		26,75	25,95	27,5	26,4	27,0	25,8
Intensité volumique, en ampères par décimètre cube d'élément.....	5,44	8,33		6,84	10,00		7,04	10,07		6,28	9,06		6,35	8,48		9,06	15,10	9,15	15,13	8,46	13,90
Capacité volumique correspondante, en ampères-heures par décimètre cube d'élément...	27,20	25,00		34,20	30,00		35,20	30,20		31,40	27,18		31,75	25,44		45,30	45,30	45,75	45,40	42,30	41,70
Puissance volumique, en watts par décimètre cube d'élément.	10,60	16,00		13,31	19,20		13,78	19,30		12,26	17,37		12,40	16,27		11,22	18,15	11,34	18,15	10,48	16,70
Énergie volumique correspondante, en watts-heures par décimètre cube d'élément...	53,00	48,00		66,55	57,60		68,90	57,90		61,30	52,10		62,00	48,80		56,10	54,45	56,70	54,45	52,40	50,10

» Ces chiffres montrent en premier lieu que la capacité massique diminue beaucoup moins vite, en fonction de l'intensité, dans l'élément fer-nickel que dans celui au plomb, ce qui doit tenir en partie à l'invariabilité de l'électrolyte. En revanche, la tension moyenne aux bornes diminue plus rapidement en fonction de l'intensité, ce qui s'explique très bien par la force électromotrice plus faible de l'élément fer-nickel et par la résistance intérieure assez élevée.

» Malgré ce dernier point, l'énergie massique varie beaucoup moins en fonction de la puissance massique dans l'élément fer-nickel que dans l'élément au plomb. Du Tableau ci-dessus, on conclut que l'élément Edison ne donne, au régime de 5 heures (le plus courant dans les applications aux automobiles) qu'une énergie massique égale à celle des meilleurs accumulateurs au plomb de 1903. Au régime de 3 heures, l'énergie massique de l'élément Edison devient supérieure de 10 à 15 pour 100. En revanche, à égalité d'encombrement, l'élément Edison donne une énergie inférieure de 20 pour 100 environ au régime de 5 heures et de 5 pour 100 environ au régime de 3 heures, à celle de ces mêmes accumulateurs au plomb.

» De meilleurs résultats ont été obtenus depuis, sur des éléments Edison renfermant des positives doubles, ainsi qu'il a été expliqué précédemment. Ces éléments, du type E, ont été essayés par A.-E. Kennelly et S.-E. Whiting ⁽¹⁾ qui ont trouvé une énergie massique de 30,2 watts-heures par kilogramme d'élément au régime de 4 heures 40 minutes et de 25,4 watts-heures par kilogramme d'élément au régime de 1 heure 10 minutes.

» M. U. Schoop ⁽²⁾ qui a essayé un élément semblable a obtenu

(1) Il s'agissait ici d'un élément à 18 plaques E₁₈. La matière active positive pesait 922 g; la matière négative 662 g, et l'électrolyte, de densité 1,19, 1,40 kg. Le poids total de l'élément était environ 5,72 kg.

(2) *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXVI, 1905, p. 769. L'élément E₁₈ étudié ici pesait 5,45 kg. Les dimensions du bac étaient : hauteur, 310 mm; largeur, 65 mm; longueur, 127 mm. Avec les connexions, la hauteur totale devenait 340 mm. Il y avait 12 électrodes-nickel et 6 électrodes-fer de dimensions 235 mm × 120 mm. Le poids d'une électrode-fer était de 164 g; celui d'une électrode-nickel, de 160 g. L'élément renfermait 950 g de potasse à la densité 1,20 et pesait en tout 5,45 kg. Le vase en acier nickelé et verni avait 0,4 mm d'épaisseur. Chaque électrode-fer comprenait 24 briquettes de 1,5 mm d'épaisseur. Chaque briquette pesait 7,053 g dont 5,136 g

les valeurs suivantes à une température moyenne de 32° à 33°C. :

Intensité de décharge en ampères.	Capacité en ampères-heures.	Tension moyenne en volts.	Ampères-heures par kilogramme d'élément.	Watts-heures par kilogramme d'élément.
80	133	1,145	24,10	27,59
50	144	1,220	26,18	31,93
40	138,7	1,242	25,20	31,29
30	144	1,262	26,18	33,00
20	128,7	1,290	23,40	30,18
10	145	1,320	26,36	34,79

» Enfin, d'après F. Herkenrath ⁽¹⁾, Edison obtiendrait 30 à 45 watts-heures par kilogramme d'élément avec son dernier type composé, comme il a été décrit ci-dessus, de positives à tubes dans lesquels on a mélangé à la matière active des fils de nickel très fins.

» Les éléments construits par la *Kölner Accumulatoren-Werke Gottfried Hagen*, et caractérisés par l'emploi du nickel pur dans les supports et les poches, n'avaient au début, d'après E. Sieg ⁽²⁾, qu'une énergie massique de 10 à 12 watts-heures par kilogramme d'élément.

Dans une Communication à la Société allemande de Bunsen, les 2 et 3 juin 1905, Gräfenberg ⁽³⁾ a indiqué les résultats suivants, relatifs à ces éléments :

de matière et 1,917 g de cuvettes, la matière active de densité apparente 4,304 (celle de la brique complète étant 4,874) renfermait 20 pour 100 de mercure et 73,9 pour 100 de fer (aux deux états FeO et Fe²O³). Par électrode-fer, il y avait donc 123 g de matière active, dont 89 g de fer et 20 g de mercure.

⁽¹⁾ *Centralblatt f. Accumulatoren*, t. VII, 1^{er} mars 1906, p. 53.

⁽²⁾ Conférence du 25 janvier 1905 à la Société électrotechnique de Cologne.

⁽³⁾ La matière positive [Ni (OH)² obtenu électrolytiquement et transformé par voie chimique en Ni²O³ hydraté] renfermait 40 pour 100 de graphite nickelé et de graphite en poudre. La matière positive (oxyde des battitures pulvérisé réduit par l'hydrogène à 380°C.) était additionnée de 10 pour 100 de graphite nickelé. La matière comprimée modérément en briquettes de 85 mm × 18 mm × 2 mm était introduite dans des poches de nickel pur de 0,75 mm d'épaisseur. Chaque plaque comprenait 10 poches semblables. L'élément, de dimensions 300 mm × 92 mm × 52 mm renfermait 6 paires de plaques et pesait, avec bac en fer plié de 0,3 mm d'épaisseur, 2,75 kg. Dans ce poids sont compris 900 g de matières actives, 750 g de tôles de nickel, 625 g d'électrolyte à 20 pour 100 et 475 g de bac et accessoires. La surface active des électrodes était 18 dm².

Intensité de décharge en ampères.	Capacité en ampères-heures.	Tension moyenne en volts.	Ampères-heures par kilogramme d'élément.	Watts-heures par kilogramme d'élément.
10	35	1,237	12,74	15,79
15	33,25	1,226	12,10	14,83
20	31,7	1,205	11,53	13,89
30	27,5	1,130	10,00	11,30
50	25	1,050	9,09	9,55

» Le même auteur a annoncé, en 1906, à la Société des Électro-techniciens de Cologne, que la fabrique Gottfried Hagen serait arrivée à l'énergie massique de 18 watts-heures par kilogramme d'élément en employant des plaques doubles constituées par la combinaison de deux plaques unitaires.

» Sur les accumulateurs fer-nickel construits par l'*Accumulatoren-Fabrik A.-G.* dans son usine de Hagen, nous trouvons les renseignements suivants (1). Un élément d'un poids total de 7,15 kg et d'un volume de 3,19 dm³ donne, au régime de 5 heures, une capacité de 150 ampères-heures sous une différence de potentiel moyenne de 1,23 volt, ce qui correspond à 25,8 watts-heures par kilogramme d'élément.

» Des accumulateurs alcalins fer-nickel jusqu'ici construits, ce sont les éléments Edison qui donnent la plus grande énergie. En prenant les chiffres constatés les plus élevés indiqués ci-dessus et relatifs à un élément Edison E₁₈, il résulte que l'énergie massique est de 27,6 à 34,8 watts-heures par kilogramme d'élément pour une puissance massique de 16,8 à 2,4 watts par kilogramme d'élément. En rapportant à l'encombrement total, on trouve une énergie volumique de 53,6 à 67,5 watts-heures par décimètre cube pour une puissance volumique de 32,6 à 4,7 watts par décimètre cube.

» Pour établir la comparaison actuelle avec les accumulateurs au

(1) *Elektrot. und Maschinenbau*, n^{os} 21 et 22 de 1906. L'élément considéré renfermait 37 plaques 225 mm × 97 mm. Les poches, de dimensions 87 mm × 11 mm étaient en tôle de nickel de 0,03 mm d'épaisseur, obtenue électrolytiquement. La matière positive, mélangée de graphite en poudre, renfermait outre l'oxyde de nickel des traces d'oxyde d'argent. La matière négative, oxyde des battitures purifié, était additionnée d'écaillés de cuivre. Le bac en tôle ordinaire avait un volume total de 3,19 dm³. L'élément complet pesait 7,15 kg dont 2,073 kg de matières actives, 1,645 kg de supports, 1,359 kg de vase et connexions et 2,073 kg d'électrolyte.

plomb, il faut remarquer que, depuis 1903, ceux-ci ont également progressé. Les éléments les plus légers, actuellement connus, donnent (1) une énergie massique de 39,9 à 51,9 watts-heures par kilogramme d'élément pour une puissance massique de 8,3 à 2,2 watts par kilogramme d'élément. En rapportant à l'encombrement total on trouve une énergie volumique de 101,2 à 131,7 watts-heures par décimètre cube pour une puissance volumique de 21,0 à 5,5 watts par décimètre cube.

» On peut donc en conclure que l'accumulateur alcalin fer-nickel ne donne pas encore, comme légèreté et surtout comme faible encombrement, les résultats que l'on peut obtenir aujourd'hui avec les accumulateurs au plomb. Et il faut remarquer ici que pour bien des applications l'encombrement est au moins aussi limité que le poids.

» Pour établir la comparaison au point de vue économique, il faut faire entrer en ligne de compte le prix d'achat des éléments, leur durée et leur rendement. C'est là une question très délicate, mais qu'il importe cependant d'examiner.

» De l'examen des prix de Catalogue, il résulte qu'un élément Edison du type D et d'une énergie de 150 à 200 watts-heures au régime de 5 heures coûte 0,59 fr par watt-heure. Dans les mêmes conditions, certains éléments au plomb coûtent 0,21 fr par watt-heure. A égalité d'énergie, le prix d'achat des éléments fer-nickel est donc encore de deux à trois fois plus élevé que celui des éléments au plomb.

(1) *La Revue électrique*, t. IV, 30 octobre 1905, p. 230. Il s'agit ici d'éléments T. E. M. à 31 plaques montées dans des bacs d'ébonite ayant comme dimensions extérieures : longueur, 134 mm; largeur, 155 mm; hauteur, 327 mm. La hauteur totale (connexions comprises) est 347 mm. Le poids total d'un élément est de 18,30 kg dont 5,58 kg de positives et 5,46 kg de négatives. Les capacités et énergies aux différents régimes sont les suivantes :

Intensités en ampères.	Capacités en amp.-heures.	Énergies en watts-heures.
20	475	950
40	460	904
60	426	822
80	385	730

Avec de tels éléments, une voiture Krieger a pu parcourir, sans recharge, environ 225 km à une vitesse moyenne de 40 km à l'heure.

» En ce qui concerne la durée il est encore impossible de se faire une opinion exacte, les résultats obtenus jusqu'ici étant assez contradictoires. M. Janet ⁽¹⁾ a obtenu de bons résultats puisque l'élément essayé par lui, d'une capacité initiale de 165 ampères-heures à 30 ampères, donnait encore 162 ampères-heures après 175 décharges, soit une baisse de 1,8 pour 100 seulement.

» Max Roloff ⁽²⁾, qui a essayé un élément Edison du type D ayant une capacité initiale de 173 ampères-heures, a trouvé que cette capacité baissait jusqu'à 50 à 70 ampères-heures après 100 décharges.

» D'après Gräfenberg ⁽³⁾, l'électrode-fer se comporte moins bien, au point de vue de la durée, que l'électrode-nickel, et perd environ 12 pour 100 de sa capacité en 100 décharges et 17 pour 100 en 200 décharges. Il s'agissait ici d'électrodes de la *Kölner Accumulatoren-Werke Gottfried Hagen*.

» Signalons enfin, avec F. Herkenrath ⁽⁴⁾, qu'Edison garantirait trois ans ses nouveaux éléments à tubes, le remplacement d'un jeu complet d'électrodes représentant le tiers du prix d'achat de l'élément.

» Nous avons mentionné antérieurement le mauvais rendement de l'accumulateur alcalin fer-nickel. Nous citerons ici quelques résultats obtenus. Dans ses expériences sur un élément Edison, M. Janet ⁽⁵⁾ a trouvé un rendement de 0,617 en quantité et 0,430 en énergie lorsqu'on demande à l'élément toute sa capacité. Ces valeurs augmentaient quand on ne demandait à l'élément qu'une fraction de sa capacité totale et elles atteignaient respectivement 0,791 et 0,550 pour les 90 centièmes de cette capacité. L'intensité de charge était égale à celle de décharge qui correspondait au régime de 3 heures.

» Pour les éléments de la *Kölner Accumulatoren-Werke Gottfried Hagen*, E. Sieg ⁽⁶⁾ indique un rendement en énergie de 0,50.

(1) *La Revue électrique*, t. I, 15 janvier 1904, p. 11.

(2) Conférence du 25 janvier 1905 à la Société électrotechnique de Cologne.

(3) Communication des 2 et 3 juin 1905 à la Société allemande Bunsen.

(4) *Centralblatt f. Accumulatoren*, t. VII, 1906, p. 53.

(5) *La Revue électrique*, t. I, 15 janvier 1904, p. 10.

(6) Conférence du 25 janvier 1905 à la Société électrotechnique de Cologne.

» Max Roloff ⁽¹⁾ a trouvé sur un élément Edison du type D un rendement de 0,625 en quantité et de 0,44 en énergie, au début du fonctionnement, ce rendement diminuant ensuite peu à peu, de telle sorte que la valeur moyenne pour 500 décharges n'était plus que 0,45 à 0,50 en quantité et 0,26 en énergie.

» Dans l'étude qu'il a faite d'éléments de la *Kölner Accumulatoren-Werke Gottfried Hagen*, Gräfenberg ⁽²⁾ a pu obtenir un rendement de 0,95 en quantité et de 0,65 en énergie pour une décharge partielle et lorsque la décharge suit immédiatement la charge. En laissant 24 heures d'intervalle entre la charge et la décharge, ces valeurs s'abaissaient respectivement à 0,63 et 0,42.

» M. U. Schoop ⁽³⁾ annonce, pour un élément Edison E 18, un rendement de 0,555 en quantité et 0,400 en énergie quand l'élément donne toute sa capacité et 0,791 en quantité et 0,56 en énergie quand l'élément ne donne que les 94 centièmes de sa capacité totale.

» En ne considérant que les dépenses relatives à l'intérêt, à l'amortissement et à l'énergie électrique, E. Sieg ⁽⁴⁾ arrive à cette conclusion qu'une batterie d'automobile montée avec accumulateurs alcalins donne lieu à une dépense supplémentaire, par voiture-kilomètre, de 4,38 centimes, dont 2,81 centimes de courant, sur la batterie de même énergie montée avec accumulateurs au plomb ⁽⁵⁾. Comme des fabriques telles que la fabrique Gottfried Hagen acceptent l'entretien des batteries d'éléments au plomb moyennant une redevance de 3,75 centimes par voiture-kilomètre, on peut conclure

(1) Conférence du 25 janvier 1905 à la Société électrotechnique de Cologne.

(2) Communication des 2 et 3 juin à la Société allemande Bunsen.

(3) *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXVI, 1905, p. 769.

(4) Conférence du 25 janvier 1905 à la Société électrotechnique de Cologne.

(5) Une batterie de 80 volts et 160 ampères-heures coûte 5100 fr (pour 64 éléments) avec éléments fer-nickel, tandis qu'elle ne coûte que 1875 fr avec éléments au plomb. En supposant un parcours de 100 km pendant 300 jours par an, les dépenses d'intérêt (à 5 pour 100) et d'amortissement (à 10 pour 100) sont, par voiture-kilomètre, de 2,5 centimes pour la batterie fer-nickel et de 0,937 centime pour la batterie au plomb. En admettant une charge de 240 watts-heures par voiture-kilomètre pour la batterie en plomb (rendement, 0,80), les dépenses de courant sont, dans ce cas, de 0,05 fr par kilomètre-voiture, en comptant 0,20 fr le kilowatt-heure. Avec la batterie fer-nickel (rendement 0,50) cette dépense s'élève à 7,81 centimes par voiture-kilomètre.

avec E. Sieg que l'emploi des éléments alcalins fer-nickel est encore actuellement irrationnel, même si l'on suppose que les électrodes peuvent durer très longtemps, ceci à cause du prix de revient trop élevé de ces éléments et de leur mauvais rendement (1).

» En résumé, on peut dire que l'accumulateur alcalin fer-nickel ne possède pas, au point de vue purement technique des qualités suffisantes pour permettre des applications nouvelles. D'autre part, ses défauts économiques l'empêchent de lutter avec l'accumulateur au plomb dans les applications existantes.

» Et c'est pour ces raisons que, comme nous le disions en commençant, ces éléments ne sont pas encore appliqués, et que les trois constructeurs qui en avaient entrepris la fabrication l'ont arrêtée ou interrompue.

» Edison, paraît-il, travaillerait actuellement un accumulateur au cobalt. Je pense qu'il s'agit, comme l'indique un brevet Edison (2), de remplacer, dans l'élément fer-nickel, l'électrode-fer par une électrode-cobalt. Les oxydes de cobalt seraient plus facilement réductibles par le courant que ceux de fer; mais la tension moyenne à la décharge serait ici un peu plus faible (1,10 volt). En l'absence de tout renseignement, il faut s'abstenir d'établir un jugement; mais on peut cependant remarquer que le cobalt est un métal très cher. L'oxyde de cobalt ordinaire vaut, en effet, environ cinq fois plus cher que l'oxyde de nickel ordinaire, et le nickel est déjà un métal très cher pour les accumulateurs.

» La Société *Kölner Accumulatoren-Werke G. Hagen* de Cologne, qui exploitait les brevets Jungner, a arrêté purement et simplement la fabrication de ces éléments depuis plus d'un an.

» Quant à l'*Accumulatoren-Fabrik A.-G.*, dont l'usine est à Hagen, elle aurait, paraît-il, découvert un nouveau couple qui serait beaucoup plus intéressant que l'élément fer-nickel, qui éviterait les inconvénients des liquides alcalins et aurait une force électromotrice supérieure à celle de l'élément fer-nickel. Ajoutons que les recherches sur le nouvel élément ne seraient pas encore terminées.

(1) On pourra remarquer que dans le calcul de E. Sieg le rendement a été pris un peu élevé pour l'accumulateur au plomb. Mais, en revanche, la supposition d'un parcours moyen journalier de 100 km est un peu excessive.

(2) Brevet allemand n° 163342 du 7 janvier 1903.

» Il ne faudrait pas conclure de toutes ces constatations qu'il n'y a rien à espérer du couple alcalin fer-nickel et, d'une façon générale, des accumulateurs alcalins à électrolyte invariable et à électrodes insolubles. Notre opinion est qu'il est possible d'arriver à une solution dans cette voie, mais que l'élément fer-nickel est sorti trop tôt du laboratoire. La classe des accumulateurs alcalins à électrolyte invariable et à électrodes insolubles présente, théoriquement, des avantages suffisants pour inciter les chercheurs à travailler dans cette voie, Mais, pour faire œuvre utile, il ne faut pas perdre de vue que la première condition à réaliser est qu'il faut partir de substances aussi économiques que possible.

» Les recherches à entreprendre sont fort délicates, puisqu'il s'agit de déterminer des réactions souvent complexes. Elles sont très longues, puisqu'il faut rechercher les modifications physiques et chimiques possibles après un très grand nombre de décharges et charges successives.

» Mais nos connaissances actuelles sur les accumulateurs et, en particulier, sur l'accumulateur au plomb, sont certainement des guides précieux dans de telles études.

» En ce qui concerne notamment l'utilisation des matières actives, nous croyons que l'on peut tirer grand profit de ce fait que nous mettions récemment en lumière à propos de l'accumulateur au plomb, c'est qu'il suffit quelquefois de modifier légèrement l'électrolyte, principalement pendant la formation, pour obtenir des coefficients d'utilisation très variables. Il ne faut pas oublier, en effet, que l'insolubilité des matières actives ne doit pas être absolue, car si cela était, elles n'émettraient pas d'ions et, par suite, ne seraient pas actives. Mais elle doit être, d'autre part, suffisante pour éviter les inconvénients connus des électrodes solubles.

» Je terminerai en m'excusant de la longueur de ces considérations et en vous remerciant, Messieurs, de l'attention bienveillante que vous avez bien voulu me prêter. »

M. le PRÉSIDENT remercie M. Jumau et félicite la troisième Section du résultat de ses travaux.

M. Schoop donne quelques indications sur les applications faites à New-York de l'accumulateur Edison.

REMARQUES SUR L'ACCUMULATEUR EDISON.

M. P. JANET. — « Messieurs, au moment de la Communication que j'ai eu l'honneur de présenter à la Société, en novembre 1903, sur l'accumulateur Edison, les essais de cet appareil se poursuivaient encore au Laboratoire central d'Électricité; bien que ces essais remontent maintenant à plusieurs années, il a paru intéressant à la troisième Section de votre Comité d'en donner ici les résultats.

» Nous rappellerons que les essais ont porté sur un élément ayant un poids total de 8 kg et une capacité de 165 ampères-heures au régime de 5 watts par kilogramme.

» Après des expériences variées, qu'on trouvera dans la Communication rappelée plus haut et qui ont exigé vingt-sept charges et décharges, l'élément a été soumis à des essais d'endurance : le numéro d'ordre des décharges d'endurance devra donc être partout augmenté de vingt-sept pour avoir le nombre total des décharges subies par l'élément.

» Les décharges d'endurance étaient commandées par un interrupteur automatique tournant qui donnait les régimes suivants :

14 m.....	A 50 ampères
5 m.....	97,5 —
22 m.....	33,5 —
52 m.....	82 —
11 m.....	88,5 —
29 m 55 s.....	43,4 —

» Les résultats des essais d'endurance ont été les suivants :

Numéro de la décharge.	AH.	Observations.
98.....	160	{ (Dernière décharge au moment de la Communication de 1903)
150.....	160	
200.....	154	(Décharge faite en plein hiver)
250.....	147	
300.....	154	
330.....	154	(413 ^e depuis le début des essais)
386.....	147	

» Après la 350^e décharge, l'élément avait été vidé; on avait constaté que la solution de potasse était carbonatée, sans que cette carbonatation semblât agir sur la capacité de l'élément. On avait néanmoins remplacé le liquide par de l'électrolyte neuf. En vidant et en lavant l'élément on avait recueilli le dépôt qui se trouvait à la partie inférieure; le poids de ce dépôt était de 3,5 g.

» Après la 386^e décharge, on a cherché à faire remonter la capacité de l'élément en le chargeant à l'envers, suivant les indications d'Edison. On a fourni ainsi à l'élément, à deux reprises différentes, 300 ampères-heures au régime de 150 ampères. Pendant cette opération, des lampes à incandescence, placées dans le voisinage de l'élément, maintenaient sa température à 80°.

» Dans ces conditions on a ramené la capacité de l'élément à 170 ampères-heures. Cette capacité à la 490^e décharge était retombée à 145 ampères-heures.

» A ce moment, on a encore pu ramener l'élément à sa capacité initiale par une charge à l'envers accompagnée d'un chauffage à 80°.

» Le Laboratoire central a aussi essayé le nouvel élément dont il avait été question dans la Communication de 1903 et qui comportait deux fois plus de plaques nickel que de plaques fer.

» Nous n'avons eu entre les mains que ce qu'Edison appelle *un demi-élément* du poids total de 5 kg. Ses dimensions étaient les suivantes :

Hauteur.....	34	cm
Longueur.....	12,5	—
Épaisseur.....	6	—

» Les résultats des essais ont été les suivants :

Régime.			Capacité.		Régime spécifique.		Capacité spécifique.	
V								
A.	(moyens).	W.	AH.	WH.	$\frac{A}{Kg}$	$\frac{W}{Kg}$	$\frac{AH}{Kg}$	$\frac{WH}{Kg}$
20	1,2	24	150	181	4	6	30	36
40	1,17	46,7	147	175	8	9,3	29,5	35
60	1,15	69	145	167	12	13,8	29	33,5
100	1,06	106	144	153	20	21,2	28,8	30,5

» Ces résultats sont supérieurs à ceux de l'élément primitif; on s'en rendra compte en reportant les points correspondants sur le diagramme de la figure 17 de la Communication de 1903.

M. le PRÉSIDENT remercie M. Janet.

M. Blondin fait une Communication sur *la fixation de l'azote atmosphérique*.

Le texte de cette Communication sera inséré dans le prochain *Bulletin*.

M. le PRÉSIDENT remercie M. Blondin d'avoir exposé si clairement la question et rappelle à ce propos les expériences de Cavendish.

La séance est levée à 11^h 10^m du soir.

BIBLIOGRAPHIE.

Les alternateurs à collecteur monophasés et polyphasés et les dynamos à courant continu à deux paires de balais, par Charles JACQUIN, 1 vol. in-8°. Paris, Gauthier-Villars, éditeur.

Cette plaquette de 140 pages passe en revue plus particulièrement les diverses classes de *moteurs monophasés*, que leurs derniers perfectionnements ont rendus si intéressants pour le développement des lignes de traction alimentées en courant monophasé.

Accessoirement, pour répondre au titre, un Chapitre rappelle les propriétés des alternateurs polyphasés à collecteur.

Les dynamos à courant continu, de polarité indépendante du sens de rotation et applicables par suite à l'éclairage des trains, sont traitées rapidement dans quelques bonnes et dernières pages.

A signaler la recommandation de l'auteur à ses lecteurs de ne pas se laisser arrêter par le manque de clarté de certaines formules et explications, susceptibles de se rencontrer en certains points d'une question dont l'analyse n'est pas épuisée, la suite de la lecture pouvant éclaircir le point resté obscur; cette pratique, facile à observer avec quelque foi dans la conscience indubitable de l'auteur, ne peut que rendre la tâche très aisée à ceux qui étudieront cette intéressante brochure.

Éléments de Mathématiques supérieures à l'usage des Physiciens, Chimistes et Ingénieurs, 4^e édition, par H. VOGT, 1 vol. gr. in-8°. Vuibert et Nony, éditeurs.

Cet Ouvrage, reproduction d'un cours professé durant plusieurs années à la Faculté des Sciences de Nancy, a été spécialement écrit à l'usage des candidats à la licence ès Sciences physiques.

Comme tel, il répond, pour les étudiants de nos écoles techniques supérieures, à un réel besoin, surtout pour ceux qui, après les cours de Mathématiques élémentaires, ont besoin d'acquérir, rapidement et en dehors de toutes dissertations non strictement objectives, les notions indispensables pour suivre les cours de Mécanique, de Physique, d'Électrotechnique, de Chimie physique, d'Électrochimie, etc.

La compétence particulière de l'auteur l'a conduit à adopter un plan tel que cer-

taines des principales divisions du *Traité* : Algèbre, Géométrie analytique, applications du Calcul différentiel, peuvent être étudiées simultanément.

Cet excellent *Traité* d'enseignement mathématique, en sa QUATRIÈME et présente édition, ne peut que recevoir l'accueil que les éditions précédentes ont si justement mérité.



LISTE DES OUVRAGES

OFFERTS A LA SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ELECTRICIENS.

(Suite.)

La Bibliothèque est ouverte aux Membres de la Société, tous les jours
de 2 heures à 5 heures, excepté les dimanches et jours de fêtes,
12, rue de Staël.

France.

Barrages en maçonnerie et murs de réservoirs, par H. BELLET. Grenoble, A. Gratier et J. Rey, 1907; 1 vol. in-8°, broché (Publications de *La Houille blanche*). (Don des éditeurs.)

Exercices et projets d'Électrotechnique, publiés sous la direction de ERIC GERARD et OMER DE BAST. Tome I : *Applications de la Théorie de l'Électricité et du Magnétisme*. Paris, Gauthier-Villars, 1907; 1 vol. in-8°, broché. (Don de l'éditeur.)

Traité complet d'Analyse chimique appliquée aux essais industriels, par J. POST et B. NEUMANN, avec la collaboration de nombreux chimistes et spécialistes. — 2^e édition française entièrement refondue, traduite d'après la 3^e édition allemande et augmentée de nombreuses additions par le Dr L. GAUTIER. Tome I, 1^{er} fascicule. Paris, A. Hermann, 1907; 1 vol. in-8°, broché. (Don de l'éditeur.)

Étranger.

Neuere Elektrophysikalische Erscheinungen, von ERNST RUMMER. Zweite durchgesehene und ergänzte Auflage. I^{re} Partie : *Fortschritte auf dem Gebiete der Telegraphie und Telephonie*. Berlin, F. et M. Harrwitz, 1907, 1 vol. in-8°, broché. (Don de l'éditeur.)

BULLETIN
DE LA
SOCIÉTÉ INTERNATIONALE
DES
ÉLECTRICIENS.

SOMMAIRE.

TRAVAUX DU LABORATOIRE CENTRAL D'ÉLECTRICITÉ. — Essais ayant pour but l'identification des balais de charbon pour dynamos, p. 433.

INFORMATIONS, p. 477.

ÉCOLE SUPÉRIEURE D'ÉLECTRICITÉ. — Liste des Élèves ayant obtenu le diplôme d'ingénieur électricien, p. 479.

BIBLIOGRAPHIE, p. 480.

TRAVAUX DU LABORATOIRE CENTRAL D'ÉLECTRICITÉ.

**ESSAIS AYANT POUR BUT L'IDENTIFICATION DES BALAIS DE CHARBON
POUR DYNAMOS.**

INTRODUCTION.

« Le travail que l'on va lire a été exécuté en 1906-1907 au Laboratoire central d'Électricité. Il n'est pas inutile d'en indiquer en quelques mots l'origine. Dans le courant de l'année 1905, M. le Ministre de la Marine avait posé, par l'intermédiaire de M. l'ingénieur en chef Maugas, un certain nombre de questions d'ordre technique à la Société internationale des Électriciens. L'examen de ces questions donna naissance, au sein des diverses sections du Comité de la Société, à des discussions très approfondies sur le fonctionnement et la spécification des dynamos, moteurs, câbles, etc. Nous n'avons pas à résumer ici ces discussions, mais nous devons expliquer comment fut soulevée la question, en apparence secon-

daire, qui provoqua le travail considérable demandé au Laboratoire : lorsque des machines électriques, dynamos ou moteurs à courant continu, sont livrées à l'administration de la Marine, elles sont soumises à des épreuves de réception rigoureuses, qui permettent de reconnaître leur conformité aux cahiers des charges, leur bon fonctionnement et, en particulier, la bonne tenue de leurs balais. On sait combien, à ce point de vue, est important le choix de la qualité de charbon employée, et combien elle est étroitement liée à la bonne commutation de la machine. Il faut donc admettre que le constructeur, profitant de toute son expérience et de tous ses essais, a choisi, en connaissance de cause, la qualité dure ou tendre, résistante ou conductrice, qui donne les meilleurs résultats avec sa machine. Lorsque la machine aura été en service un certain temps et que les balais devront être renouvelés, il s'agira de retrouver la qualité convenable de charbons; un particulier, dans ces circonstances, s'adresserait peut-être au fournisseur de la machine; la Marine ne le peut pas. Étant donnée la nécessité absolue pour elle de posséder d'avance un grand approvisionnement de tous les objets qui concourent au fonctionnement d'un navire de guerre, il lui était nécessaire d'avoir des procédés permettant l'identification entre eux de divers balais de charbon : ce sont ces procédés que le Laboratoire a été chargé de rechercher.

» On ne s'attendra donc pas à trouver dans ce qui va suivre une étude générale des propriétés des balais de charbon au point de vue de la commutation; mais, quelque restreinte que fût la question posée, elle a donné lieu à l'étude d'un grand nombre de propriétés physiques des charbons pour balais de dynamos, et, à ce titre, il nous a semblé que la publication de cette étude pourrait avoir quelque intérêt non seulement pour les électriciens proprement dits, mais aussi pour bien d'autres industriels amenés à utiliser le carbone; c'est pourquoi nous avons sollicité auprès de M. le Ministre de la Marine l'autorisation, qu'il nous a très gracieusement accordée, de publier le résultat de nos recherches; nous l'en remercions ici bien vivement.

» On s'étonnera peut-être de ne pas trouver certains procédés d'identification qui paraissaient tout indiqués, par exemple l'analyse chimique; c'est qu'une des conditions imposées était de n'avoir

recours qu'à des procédés simples et facilement exécutables sans grandes ressources; la plupart des essais que nous avons effectués satisfont à cette condition; certains d'entre eux, tout en ne donnant pas des résultats concluants pour la différenciation des qualités de charbon, présentent néanmoins des indications utiles sur leurs propriétés générales; d'autres, au contraire, montrent des différences très nettes entre les diverses qualités des fabricants de balais en carbone et semblent bien répondre au desideratum qui nous avait été proposé ⁽¹⁾. »

P. J.

SPÉCIFICATION DES ÉCHANTILLONS.

» Les essais ont porté sur des blocs ayant la forme de parallélépipèdes rectangles qui, d'après les demandes adressées aux fabricants, devaient avoir les dimensions suivantes :

Hauteur (<i>H</i>).....	60 mm
Largeur (<i>L</i>).....	20 »
Épaisseur (<i>E</i>).....	12 »

» Les blocs ont été commandés à cinq fabricants, et à chacun on a demandé trois qualités différentes, sauf pour un seul fabricant qui a réduit à deux le nombre de *ses qualités*.

» En principe, on a choisi dans le catalogue de chaque fournisseur une qualité dite *dure*, une autre dite *douce* et une intermédiaire.

» Tous les blocs reçus ont été marqués par deux lettres et un numéro. La première lettre (consonne majuscule) caractérise le fabricant, la deuxième lettre (voyelle minuscule) la qualité; le numéro un bloc d'un fabricant et d'une qualité.

DENSITÉ APPARENTE.

» La densité apparente des échantillons a été définie comme égale au rapport de la masse (*M*) du bloc considéré à son volume apparent (*V*) à la température ambiante.

» Les mesures ont porté sur trois blocs de chaque qualité : sur

⁽¹⁾ Nous tenons à signaler ici la grande part qu'a prise à ce travail M. Ch. David, chef de travaux au Laboratoire.

chaque bloc on a fait deux mesures de hauteur (H), trois mesures de largeur (L) et trois mesures d'épaisseur (E).

» La température ambiante, pendant les essais, a été comprise entre 12° et 17°C.

» Le Tableau suivant résume les résultats; pour chaque qualité on a donné la moyenne des valeurs obtenues pour les densités apparentes de 3 blocs.

Qualité.	Densité apparente moyenne.
Ma	1,619
Mi	1,524
Mo	1,518
Na	1,492
Ni	1,582
No	1,582
Ta	1,487
Ti	1,376
To	1,392
Va	1,450
Vi	1,433
Za	1,521
Zi	1,478
Zo	1,469

DENSITÉ.

» La densité est une quantité mal définie pour un corps poreux comme le charbon.

» Une série d'essais préliminaires a montré que l'eau pénètre lentement dans les pores et que, pour des fragments d'un volume inférieur à 1 cm³, ayant été chauffés dans l'eau bouillante et placés dans le vide, l'imprégnation n'est pas complète, même après plusieurs jours.

» Aussi les valeurs obtenues dans les densités ne doivent pas être considérées comme absolues, mais comme comparables dans les conditions d'expériences indiquées ci-après.

» On a employé pour cette mesure la méthode dite *du flacon*. Les flacons employés avaient une capacité d'environ 25 cm³. L'essai était conduit de la façon suivante :

» Le flacon rempli d'eau distillée était plongé pendant au moins

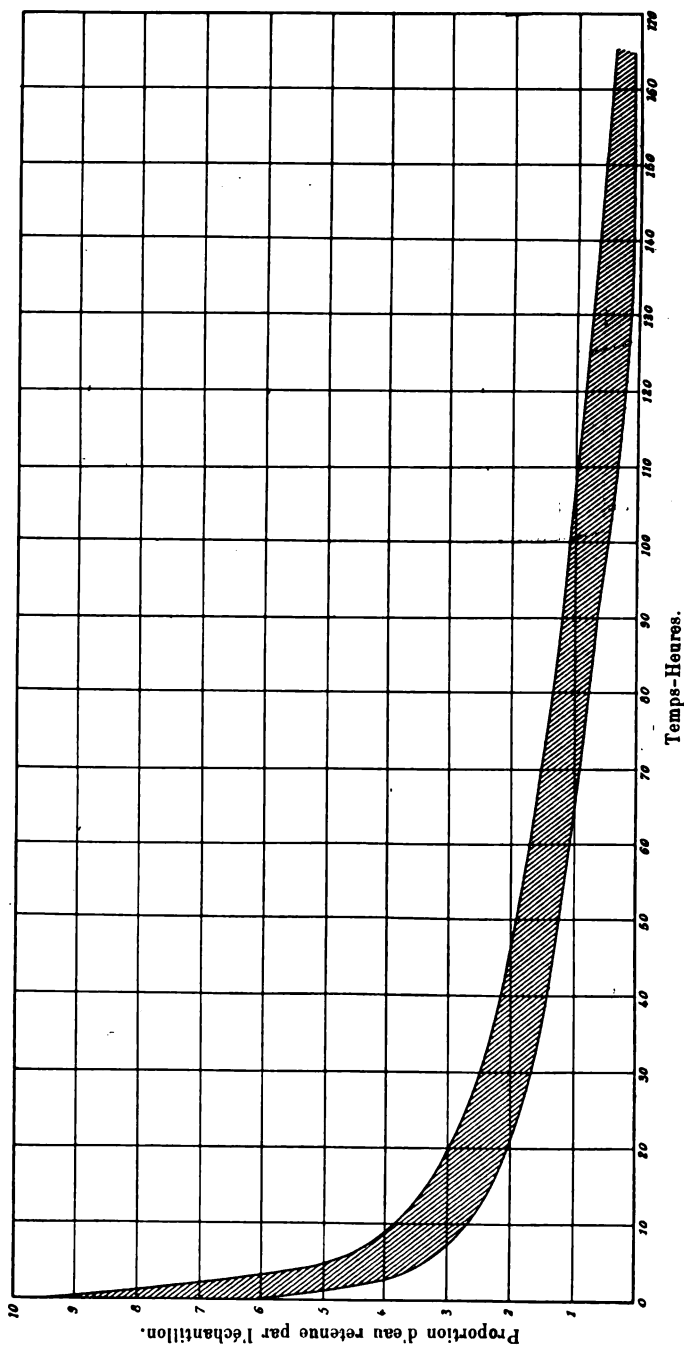


Fig. 1. — Courbes de porosité (échantillons M).

une demi-heure dans de l'eau courante à la température de 9° à 10°C., et l'on procédait à l'affleurement au trait de repère pendant que le flacon était dans l'eau .

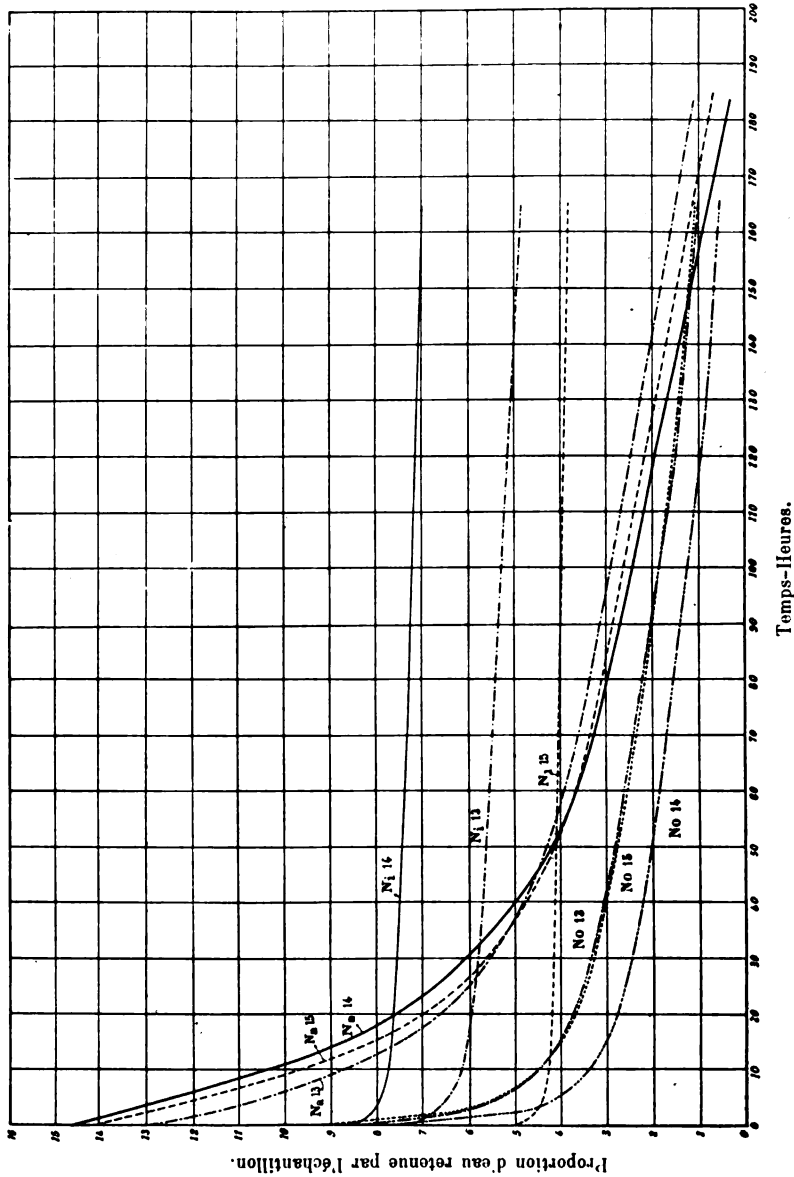


Fig. 2. — Courbes de porosité (échantillons N).

» Le flacon sorti de l'eau et essuyé était laissé à l'air libre pendant plusieurs heures et placé ensuite dans le plateau d'une balance avec le charbon à étudier. On faisait la tare.

» La masse de charbon employée dans chaque mesure était de 13 g à 16 g; les blocs étaient réduits en fragments dont les plus gros avaient au plus un volume de 1 cm³ (on a évité l'emploi de poudre dont la manipulation est plus délicate).

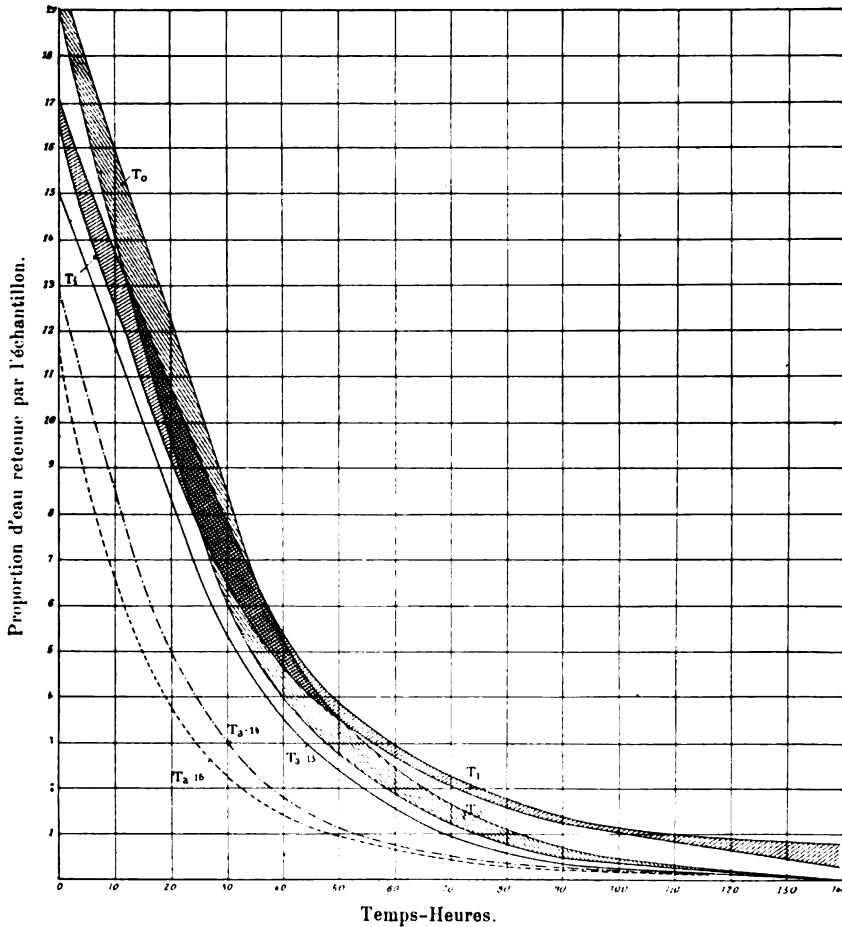


Fig. 3. — Courbes de porosité (échantillons T).

» Une fois l'équilibre établi, on remplaçait le charbon par des poids marqués, ce qui donnait la masse M du charbon.

» Les fragments étaient ensuite introduits dans le flacon et le tout était chauffé au bain-marie pendant 2 heures.

» (On a fait une première série d'essais en portant à l'ébullition l'eau contenue dans le flacon pendant 5 minutes seulement; on a reconnu par la suite que la durée de cette ébullition est insuffisante

pour imprégner convenablement les charbons; on a cependant donné, à titre documentaire, les résultats obtenus dans cette série d'essais.)

» Après refroidissement, le flacon était placé, pendant environ 5 minutes, dans un récipient dans lequel on faisait le vide (la

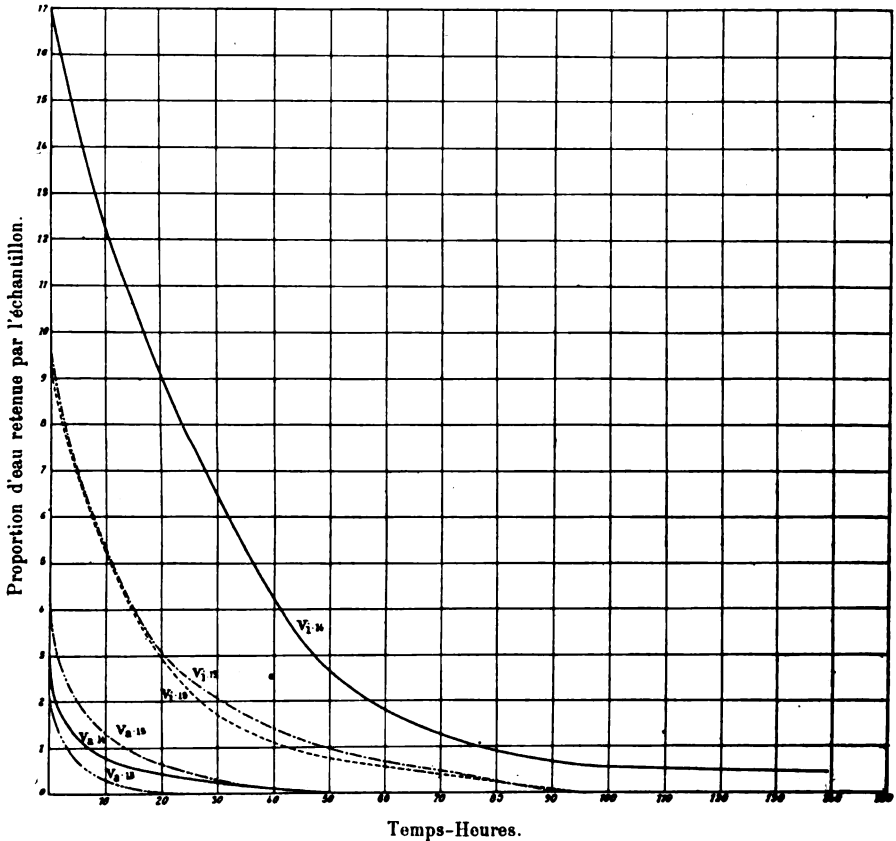


Fig. 4. — Courbes de porosité (échantillons V).

pression dans ce récipient était d'environ 10 mm à 15 mm de mercure).

» Le flacon était ensuite plongé pendant au moins une demi-heure dans de l'eau courante à 9° ou 10° C., et l'on procédait au deuxième affleurement du niveau de l'eau au trait de repère.

» Après quelques heures à l'air libre, le flacon était porté à nouveau sur le plateau de la balance et les poids marqués nécessaires pour rétablir l'équilibre donnaient la masse m de l'eau

expulsée du flacon ou, en négligeant les corrections, le volume v des fragments introduits dans le flacon.

» Les résultats obtenus sont consignés dans le Tableau suivant :

Marque des échantillons.	Densité.	
	Ebullition 5 m.	Bain-marie 2 h.
Ma.....	1,90	1,82
Mi.....	1,81	1,83
Mo.....	1,79	1,80
Na.....	1,91	1,89
Ni.....	1,84	1,80
No.....	1,82	1,82
Ta.....	1,79	1,97
Ti.....	1,86	1,81
To.....	1,96	1,99
Va.....	1,79	1,71
Vi.....	1,72	1,73
Za.....	1,90	1,90
Zi.....	1,99	2,00
Zo.....	1,93	1,91
Graphite naturel.....	»	2,19

» La première série d'essais, avec ébullition de 5 minutes, a été faite avec les blocs 30 de chaque qualité ; la deuxième série d'essais, avec bain-marie de 2 heures, a été faite avec les blocs 2 de chaque qualité, blocs ayant servi pour les mesures de densité apparente.

» L'analyse des causes d'erreur et des corrections a montré que l'approximation que l'on peut attendre de ces mesures doit être de l'ordre de ± 3 pour 100.

» Nous avons ajouté, à titre documentaire, la densité obtenue dans les mêmes conditions d'expériences pour un échantillon de graphite naturel.

POROSITÉ.

» La porosité des échantillons a été caractérisée par la proportion d'eau absorbée et retenue par chaque bloc dans les conditions indiquées ci-après.

» Les blocs, pesés à sec, ont été immergés dans de l'eau froide (10° C. environ) pendant 24 heures, puis dans de l'eau bouillante

pendant 2 heures. Le vase qui les contenait était alors refroidi pendant 2 heures en le plongeant dans un autre récipient où circulait de l'eau froide.

» Les échantillons étaient ensuite sortis de l'eau, essuyés légèrement avec du papier buvard et l'on commençait les pesées.

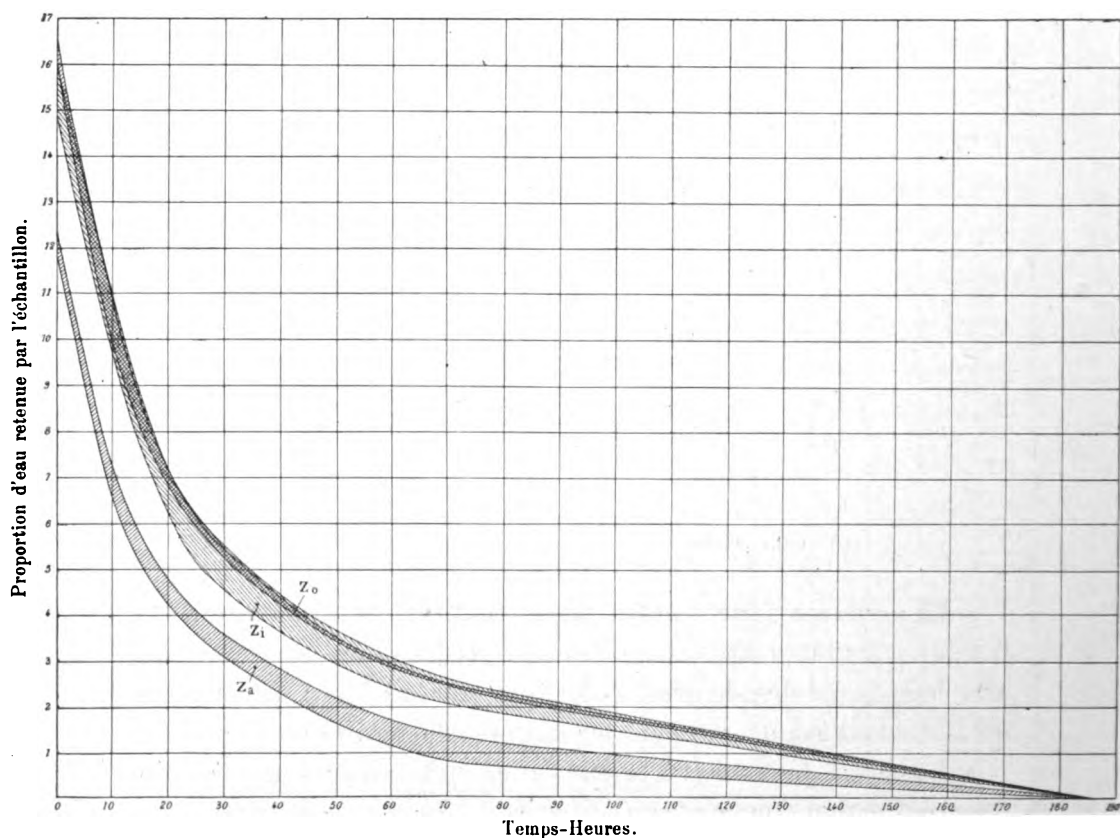


Fig. 5. — Courbes de porosité (échantillons Z).

» Les premières pesées ont été faites entre 3 minutes et 30 minutes après la sortie de l'eau ; une deuxième série de pesées a été faite 1 heure à 2 heures plus tard ; puis, suivant les échantillons, des pesées ont été faites à divers intervalles pendant 25 heures à 243 heures.

» Entre les pesées, les échantillons restaient à l'air libre, dans une pièce dont la température a varié entre 12° C. et 17° C.

» En désignant par M_0 la masse d'un bloc avant immersion dans l'eau, par $M_1, M_2, M_3, \dots, M_n$ la masse du même bloc aux époques

des pesées successives après la sortie de l'eau ; les expressions

$$\frac{M_1 - M_0}{M_0} \times 100 \dots, \quad \frac{M_2 - M_0}{M_0} \times 100 \dots, \quad \frac{M_n - M_0}{M_0} \times 100$$

donnent, pour chacune de ces époques, la proportion d'eau, en pour 100, retenue par chaque bloc.

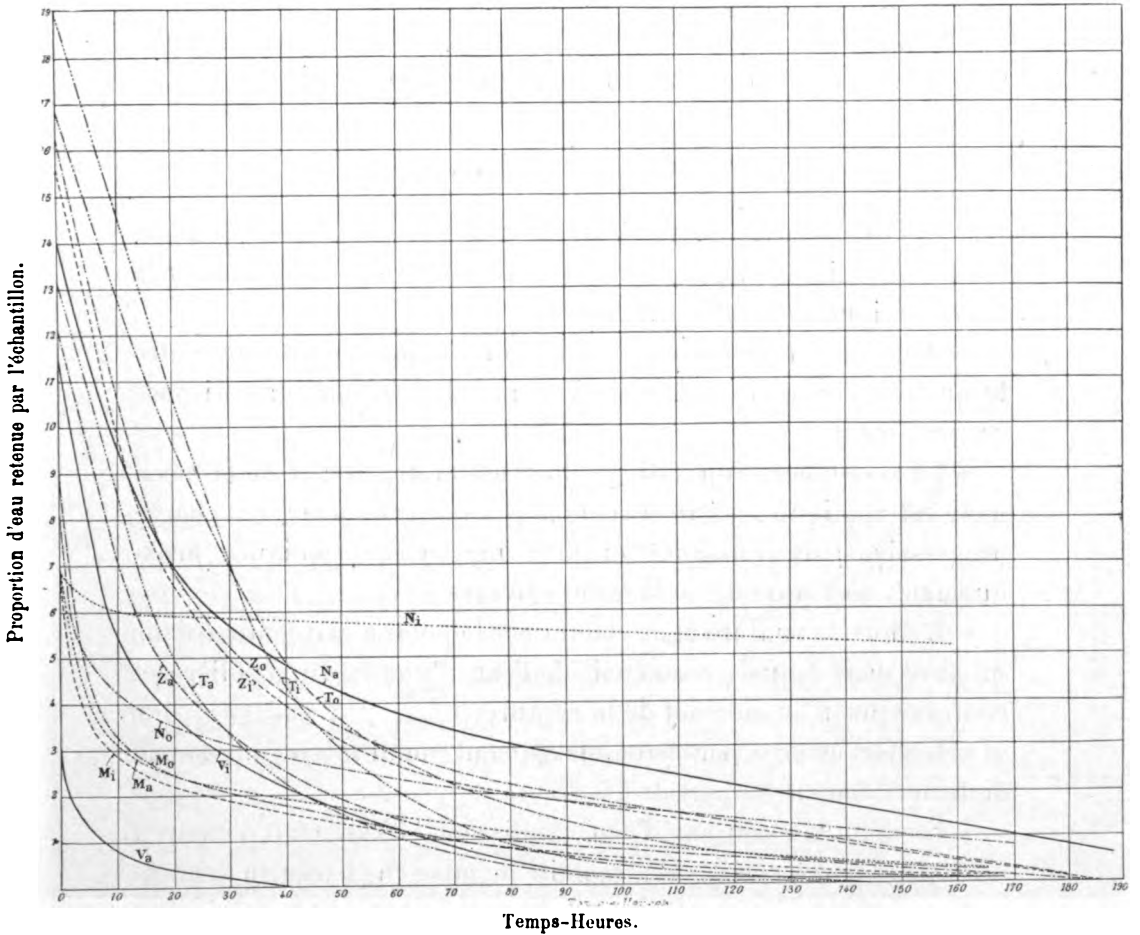


Fig. 6. — Porosité : courbes moyennes pour chaque échantillon.

» La valeur obtenue pour la première pesée, après la sortie de l'eau, pourra servir à caractériser la porosité, et l'ensemble des résultats des pesées successives caractérisera la façon dont l'échantillon se dessèche à l'air libre.

» Les essais ont porté sur 3 blocs de chaque qualité.

» Afin de rendre les résultats plus nets, on les a traduits par des courbes qui sont reproduites dans les figures 1 à 5 (1).

» Ces courbes ont été tracées en prenant comme abscisses les temps comptés à partir de la sortie de l'eau et en ordonnées les valeurs des expressions

$$\frac{M_n - M_0}{M_0} \times 100.$$

On a aussi tracé (*fig. 6*) les courbes des moyennes des valeurs obtenues pour les trois échantillons d'une même qualité.

RÉSISTANCE A LA TRACTION.

» Les blocs destinés aux essais de résistance à la traction ont été ajustés à la lime sur un gabarit en acier de façon à leur donner la forme indiquée sur la figure 7.

» Pour l'essai, ils étaient saisis entre deux pièces en fer entre lesquelles s'exerçait l'effort de traction ; l'ensemble était disposé verticalement.

» La résistance d'un solide à la traction dépendant de la façon dont est appliqué l'effort et n'étant pas la même pour une charge progressivement croissante ou pour une charge appliquée brusquement, on a procédé de la façon suivante :

» L'effort de rupture était obtenu par le poids d'eau contenu dans un vase dans lequel on amenait de l'eau d'une façon régulière et continue jusqu'au moment de la rupture.

» L'effort exercé par cette charge était amplifié par un système de leviers dans le rapport de 1 à 10.

» Le débit du courant d'eau emplissant le vase était d'environ 0,033 litre par seconde et la rapidité de mise en charge de l'éprouvette était de 0,33 kg : s.

(1) Afin de faire entrer ces figures dans le format du *Bulletin*, on a dû réduire les échelles adoptées pour les figures accompagnant le rapport ; pour certaines qualités de charbon, dont les courbes étaient très voisines et se coupaient, il devenait impossible de distinguer ces courbes sur des figures à petite échelle. Dans ce cas, comme par exemple, pour les échantillons M (*fig. 1*), on a tracé deux courbes enveloppes et hachuré la zone ainsi limitée, dans laquelle se trouvent comprises toutes les valeurs obtenues sur les neuf blocs considérés. Dans la figure 5, échantillons Z, on a pu tracer ainsi trois zones correspondant aux trois qualités.

» Lorsque la rupture s'était produite, on pesait l'eau contenue dans le vase.

» Les essais ont porté sur 3 blocs de chaque qualité, les résultats

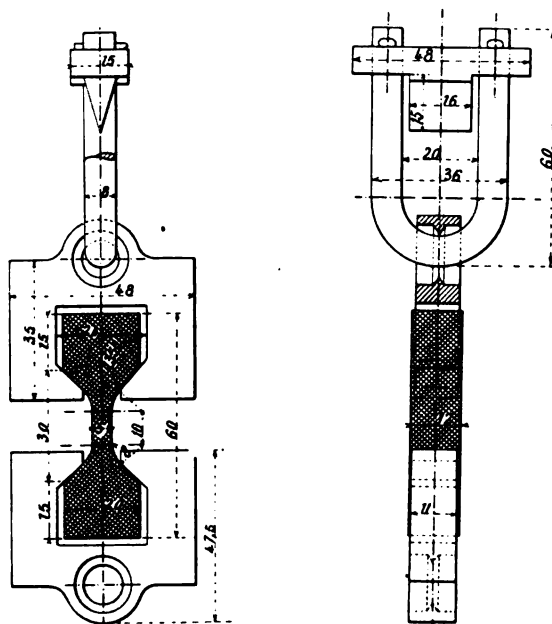


Fig. 7. — Dispositif et forme de l'éprouvette pour les essais à la traction.

obtenus sont consignés dans les Tableaux suivants qui comprennent pour chaque bloc :

» 1° L'effort total (F) en kilogrammes sous lequel s'est produite la rupture ;

» 2° La section droite (s) en millimètres carrés à l'endroit de la rupture ;

» 3° Le rapport $\frac{F}{s}$ ou charge de rupture en kg par mm² ;

» 4° Les observations faites sur l'apparence des cassures.

» *Remarque.* — Quoique la forme donnée aux éprouvettes soit du même genre que celle adoptée couramment pour les essais à la traction sur matériaux analogues et qu'elle comporte une section faible où la rupture se produit d'ordinaire, on a constaté dans plusieurs cas des ruptures en dehors de cette section minima ; c'est pour ce motif qu'on a indiqué pour chaque bloc la section droite à l'endroit de la rupture.

Marques des échantillons.	<i>F.</i> Effort de rupture. (kg).	<i>s.</i> Section à l'endroit. de la rupture. (mm ²)	$\frac{F}{s}$	Observations.
M a — 37...	72,1	57,6	1,25	Cassure assez fine, assez régulière, points brillants.
M a — 38...	79,8	53,4	1,37	
M a — 39...	117,8	59,0	1,99	
M i — 37...	81,10	64,6	1,25	Id.
M i — 38...	74,20	56,9	1,30	
M i — 39...	92,85	64,6	1,43	
M o — 37...	100,0	60,3	1,66	Id.
M o — 38...	69,0	58,5	1,17	
M o — 39...	77,0	59,7	1,29	
N a — 37...	158,3	58,4	2,71	Cassure fine, régulière, points brillants peu nombreux.
N a — 38...	113,1	60,5	1,87	
N a — 39...	156,7	57,5	2,72	
N i — 37...	131,3	60,8	2,16	Cassure un peu moins fine et régulière, points brillants plus nombreux.
N i — 38...	124,8	57	2,18	
N i — 39...	127,3	59,4	2,14	
N o — 37...	70,85	58,9	1,20	Cassure assez fine, assez régulière, points brillants peu nombreux.
N o — 38...	85,70	65,4	1,31	
N o — 39...	70,45	59,2	1,19	
T a — 37...	51,50	58,2	0,88	Cassure irrégulière, avec points brillants.
T a — 38...	52,35	58,2	0,90	
T a — 39...	34,75	56	0,62	
T i — 37...	39,95	82,6	0,48	Cassure irrégulière, mate.
T i — 38...	27,45	57,7	0,47	
T i — 39...	26,80	60,2	0,44	
T o — 37...	41,7	70,3	0,59	Cassure irrégulière, mate, grain assez fin.
T o — 38...	21,1	55,6	0,38	
T o — 39...	75,2	92,8	0,81	
V a — 37...	"	"	"	Cassé à la mise en charge.
V a — 38...	50,1	57,5	0,87	Cassure très fine, mate.
V a — 39...	38,9	58,1	0,67	
V i — 37...	45,7	56,3	0,81	Cassure irrégulière, d'apparence fibreuse.
V i — 38...	55,7	59,4	0,94	
V i — 39...	40,4	54,4	0,74	
Z a — 37...	45,0	55,5	0,81	Cassure très irrégulière, charbons avec criques.
Z a — 38...	11,6	76,0	0,15	
Z a — 39...	26,1	104,0	0,25	

Marques des échantillons.	F . Effort de rupture. (kg.).	s . Section à l'endroit. de la rupture. (mm ²)	$\frac{F}{s}$.	Observations.
Z i — 37...	7,3	103,0	0,07	Cassure irrégulière, fi-
Z i — 38...	14,1	57,2	0,24	breuse, quelques points
Z i — 39...	33,0	56	0,59	brillants.
Z o — 37..	12,6	57,5	0,22	Cassure très irrégulière,
Z o — 38...	39,9	56,0	0,71	mate, grain très fin, char-
Z o — 39...	18,3	56,4	0,32	bons avec criques.

RÉSISTANCE A LA COMPRESSION.

» Ce genre d'essai a été fait par le *Service des Ateliers du Port de Toulon*.

» Les résultats obtenus ont été communiqués au Laboratoire central ainsi qu'une note de service du Port de Toulon au service de la Surveillance à Paris (17 novembre 1906), dont on a extrait le passage suivant :

« D'après les indications de M. l'ingénieur en chef Maugas, et » dans la crainte de voir les balais flamber à cause de leur trop » grande longueur, chaque bloc a été scié suivant son milieu. Les » deux parties obtenues ont été essayées. Les dimensions de la » section de chaque bloc ont été relevées soigneusement et, ces » dimensions ayant été à très-peu près trouvées constantes le long » d'un même bloc, nous avons admis la même section pour les » deux parties de chaque bloc. »

» Les Tableaux suivants sont la copie de ceux communiqués par le service de la Surveillance à Paris.

Résultats des essais de résistance à la compression des balais en charbon.

Désignation des charbons.	Dimensions.	Section en mm ² .	Charge de rupture		
			totale en kg.	par mm ² de section en kg : mm ² .	moyenne par mm ² .
M a — 4....	12,10 × 20,05	242,60	{ 1480 2050	{ 6,100 8,450	7,275
M a — 5....	12,40 × 19,95	247,38	{ 1650 1520	{ 6,660 6,140	6,400

Résultats des essais de résistance à la compression des balais en charbon (suite).

Désignation des charbons.	Dimensions.	Section en mm ² .	Charge de rupture		
			totale en kg.	par mm ² de section en kg : mm ² .	moyenne par mm ² .
M a — 6.....	12,10 × 20,02	242,24	{ 1500	6,192 }	6,601
			{ 1700	7,010 }	
M i — 4.....	11,82 × 20,22	239,00	{ 1600	6,694 }	5,927
			{ 1350	5,160 }	
M i — 5.....	11,83 × 20,09	237,66	{ 2260	9,500 }	8,870
			{ 1960	8,240 }	
M i — 6.....	11,77 × 20,17	237,40	{ 1760	7,410 }	8,250
			{ 2160	9,090 }	
M o — 4.....	11,93 × 20,08	239,55	{ 1920	8,010 }	9,305
			{ 2560	10,600 }	
M o — 5.....	11,93 × 20,00	238,60	{ 2200	9,220 }	8,905
			{ 2050	8,590 }	
M o — 6.....	11,92 × 20,04	238,87	{ 2230	9,330 }	8,765
			{ 1960	8,200 }	
N a — 7.....	11,95 × 19,90	233,84	{ 1495	6,390 }	6,635
			{ 1610	6,880 }	
N a — 8.....	11,95 × 20,00	239,00	{ 1580	6,610 }	6,190
			{ 1380	5,770 }	
N a — 4.....	11,90 × 19,95	237,40	{ 1940	8,170 }	8,085
			{ 1900	8,000 }	
N a — 5.....	11,98 × 19,96	239,12	{ 1720	7,190 }	7,860
			{ 2040	8,530 }	
N a — 6.....	11,95 × 19,98	238,76	{ 1650	6,910 }	7,220
			{ 1800	7,530 }	
N i — 7.....	11,80 × 19,95	235,41	{ 3000	12,743 }	12,081
			{ 2690	11,420 }	
N i — 8.....	11,96 × 20,00	239,20	{ 2700	11,280 }	12,220
			{ 3150	13,160 }	
N i — 4.....	11,97 × 20,00	239,40	{ 2490	10,400 }	11,465
			{ 3000	12,530 }	
N i — 5.....	12,00 × 19,95	239,40	{ 2160	9,020 }	9,020
			{ 2160	9,020 }	
N i — 6.....	11,85 × 20,00	237,00	{ 2570	10,840 }	11,115
			{ 2700	11,390 }	
N o — 7.....	12,00 × 19,95	239,40	{ 1340	5,590 }	6,445
			{ 1750	7,300 }	

Résultats des essais de résistance à la compression des balais en charbon (suite).

Désignation des charbons.	Dimensions.	Section en mm ² .	Charge de rupture		
			totale en kg.	par mm ² de section en kg : mm ² .	moyenne par mm ² .
N o — 8.	12,00 × 20,00	240,00	{ 1710 1750 }	{ 7,120 7,290 }	7,215
N o — 4.	12,00 × 19,98	239,76	{ 1960 2120 }	{ 8,170 8,840 }	8,505
N o — 3.	12,00 × 19,96	239,52	{ 1800 1760 }	{ 7,510 7,340 }	7,425
N o — 6.	11,99 × 19,95	239,20	{ 1660 1770 }	{ 6,930 7,390 }	7,160
T a — 4.	11,97 × 19,70	235,80	{ 660 720 }	{ 2,790 3,050 }	2,920
T a — 3.	11,95 × 19,81	236,72	{ 980 1020 }	{ 4,130 4,300 }	4,215
T a — 6.	11,99 × 19,80	237,40	{ 1010 1000 }	{ 4,250 4,210 }	4,230
T i — 4.	11,94 × 19,97	238,44	{ 1550 1510 }	{ 6,500 6,330 }	6,415
T i — 3.	11,97 × 19,79	236,88	{ 1450 1550 }	{ 6,120 6,540 }	6,330
T i — 6.	12,03 × 20,07	241,44	{ 1510 1450 }	{ 6,250 6,000 }	6,125
T o — 4.	12,03 × 19,87	239,03	{ 1110 1230 }	{ 4,640 5,140 }	4,890
T o — 3.	11,75 × 19,89	233,70	{ 1030 1080 }	{ 4,400 4,620 }	4,510
T o — 6.	12,00 × 19,98	239,76	{ 1360 1320 }	{ 5,670 5,500 }	5,585
V a — 4.	12,08 × 19,80	239,18	{ 980 910 }	{ 4,090 3,800 }	3,945
V a — 3.	12,14 × 19,80	240,37	{ 730 710 }	{ 3,030 2,950 }	2,990
V a — 6.	12,08 × 19,82	239,42	{ 730 760 }	{ 3,040 2,750 }	2,895
V i — 4.	11,95 × 20,08	239,95	{ 610 410 }	{ 2,540 1,700 }	2,120
V i — 3.	12,01 × 20,16	242,12	{ 600 550 }	{ 2,470 2,270 }	2,370
V i — 6.	11,96 × 20,06	239,91	{ 590 500 }	{ 2,430 2,080 }	2,255

Résultats des essais de résistance à la compression des balais en charbon (suite).

Désignation des charbons.	Dimensions.	Section en mm ² .	Charge de rupture		
			totale en kg.	par mm ² de section en kg : mm ² .	moyenne par mm ² .
Z a —4.....	11,80 × 19,91	234,93	{ 960 1420	{ 4,080 6,040	5,060
Z a —5.....	11,82 × 19,98	234,98	{ 1380 1260	{ 5,870 5,360	5,615
Z a —6.....	11,81 × 19,85	234,42	{ 990 1320	{ 4,220 5,630	4,925
Z i —4.....	11,79 × 19,98	235,56	{ 610 490	{ 2,580 2,080	2,330
Z i —5.....	11,82 × 19,97	236,04	{ 450 540	{ 1,900 2,280	2,090
Z i —6.....	11,79 × 19,95	235,21	{ 430 530	{ 1,820 2,250	2,035
Z o —4.....	11,92 × 19,78	235,77	{ 960 620	{ 4,080 2,620	3,350
Z o —5.....	11,83 × 19,81	234,35	{ 900 790	{ 3,840 3,370	3,605
Z o —6.....	11,92 × 19,74	235,30	{ 1010 830	{ 4,290 3,520	3,905

» *Nota.* — Les essais ont été effectués avec une balance système Jøessel.

» La longueur des balais était de 30 mm environ.

USURE.

» On a fait divers essais préliminaires pour essayer de caractériser les usures respectives d'un bloc de charbon et d'une pièce de cuivre frottant l'un contre l'autre en utilisant, soit des mouvements de rotation, soit des mouvements alternatifs.

» Ces essais n'ont pas conduit à un procédé fournissant des indications nettes, particulièrement pour les raisons suivantes : l'usure des pièces frottantes est faible et, pour que cette usure soit facilement mesurable, avec une approximation suffisante, il faut faire durer l'essai pendant très longtemps ; en outre, avec la plupart des

qualités de charbon, il se produit au bout d'un certain temps un polissage et un graissage des surfaces en contact, et à partir de ce moment l'usure devient très petite.

» Aussi a-t-on été amené à caractériser cette propriété en faisant frotter le charbon sur une substance abrasante telle que l'émeri.

» Le dispositif employé a été le suivant :

» Le bloc de charbon, disposé dans le porte-balai utilisé pour les essais de résistance au contact, reposait normalement par une des petites faces sur une toile d'émeri fixée sur la périphérie d'un disque en bois animé d'un mouvement de rotation autour d'un axe horizontal (*fig. 8*).

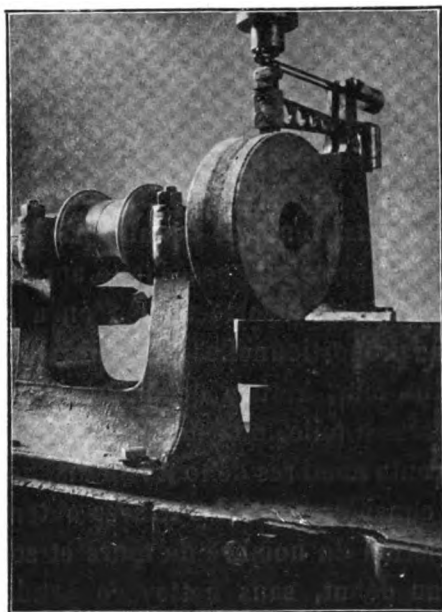


Fig. 8. — Dispositif pour les essais d'usure.

» Le diamètre du disque recouvert de toile était de 200 mm.

» La vitesse de rotation était d'environ 80 t:m, ce qui correspondait à une vitesse périphérique de 83,7 cm:s.

» Le bloc était appuyé sur la toile par un poids de 1200 g, soit 500 g:cm² de surface en contact.

» On pesait chaque bloc avant de commencer l'essai, puis après un certain nombre de tours du disque.

» La toile d'émeri était changée à chaque échantillon; on a

reconnu que cette condition était indispensable pour obtenir des résultats concordant sur deux blocs de même qualité.

» Des essais préliminaires sur un certain nombre de qualités avaient montré que, avec 1000 tours de disque, on obtenait des usures d'un ordre convenable pour les pesées, et l'on avait pensé adopter ce nombre de tours pour tous les échantillons. Mais on a trouvé, lors des essais définitifs, des qualités qui s'usaient beaucoup plus rapidement et, suivant les cas, on a dû arrêter l'essai après 500 et même après 200 tours du disque (il faut remarquer, en effet, qu'on ne peut guère user un bloc que jusqu'à la moitié de sa longueur pour que sa tenue soit bien assurée dans le porte-balai).

» Même après 1000 tours du disque, la toile d'émeri ne présente pas d'altération nettement visible lorsqu'on l'a nettoyée de la poussière de charbon qui reste adhérente après la toile, cette poussière se détache facilement par de légers chocs ou même par un courant d'air.

» On pourrait donc être tenté de déduire par proportion l'usure d'un bloc après 1000 tours d'une pesée faite après 200 tours; mais cette façon de faire serait incorrecte, car on a reconnu que les usures n'étaient pas proportionnelles au nombre de tours du disque (nous donnons plus loin, à titre documentaire, les usures d'un même bloc sur la même toile, non nettoyée entre chaque série de passes, pour différents nombres de tours du disque).

» On doit donc considérer que les usures obtenues sur un bloc déterminé sont fonction du nombre de tours et sont valables pour une toile neuve au début, sans nettoyage pendant la durée de l'essai.

» Le grain de la toile d'émeri employée correspondait à celui ordinairement désigné par le n° 00 par les fabricants (un échantillon de cette toile était joint au dossier).

» Les résultats obtenus sur deux blocs de chaque qualité sont consignés dans le Tableau suivant qui renferme :

- » 1° La masse (M_0) de chaque bloc avant l'essai;
- » 2° La masse (M) du même bloc après le nombre de tours du disque (N);
- » 3° Les différences $M_0 - M$.

Marques des blocs.	Masses (g)		Différences $M_a - M_i$	Nombre de tours du disque N.
	avant essai M_a	après essai N.		
Ma — 44 ...	22,970	15,900	7,07	1000
Ma — 45 ...	23,110	18,020	5,09	1000
Mi — 44 ...	21,720	16,860	4,86	1000
Mi — 45 ...	22,020	17,990	4,03	1000
Mo — 42 ...	21,580	17,710	3,87	1000
Mo — 44 ...	21,500	17,760	3,74	1000
Na — 45 ...	21,590	15,200	6,39	500
Na — 46 ...	20,450	14,110	6,34	500
Ni — 42 ...	22,510	21,270	1,24	1000
Ni — 44 ...	22,590	21,390	1,20	1000
No — 42 ...	22,130	15,050	7,08	1000
No — 44 ...	23,320	15,880	6,44	1000
Ta — 42 ...	20,780	17,690	3,09	1000
Ta — 43 ...	21,120	17,970	3,15	1000
Ti — 42 ...	20,245	19,250	0,995	1000
Ti — 43 ...	20,025	19,250	0,775	1000
To — 42 ...	19,850	15,750	4,10	1000
To — 43 ...	19,820	16,180	3,64	1000
Va — 42 ...	20,520	7,290	13,23	500
Va — 43 ...	20,460	7,530	12,93	500
Vi — 42 ...	20,930	9,150	11,78	200
Vi — 43 ...	20,450	9,130	11,32	200
Za — 42 ...	21,130	18,780	2,35	1000
Za — 43 ...	21,085	18,860	2,225	1000
Zi — 42 ...	20,940	8,245	12,695	500
Zi — 43 ...	20,640	8,680	11,96	500
Zo — 42 ...	20,880	13,580	7,30	1000
Zo — 43 ...	20,720	14,580	6,14	1000

USURE D'UN BLOC EN FONCTION DU NOMBRE DE TOURS.

» L'essai a porté sur le bloc No — 52; le bloc a été pesé entre chaque série de passes, la toile d'émeri était neuve au début et n'a pas été nettoyée pendant l'essai.

» Les résultats obtenus sont consignés dans le Tableau suivant :

Nombre de tours		Masse du bloc à chaque pesée (g).	Usure entre séries de deux passes successives (g).	Somme des usures (g).
entre les pesées.	à partir du commencement de l'essai.			
0	0	22,20	—	—
25	25	21,90	0,30	0,30
25	50	21,31	0,59	0,89
28	78	20,93	0,38	1,27
22	100	20,67	0,26	1,58
50	150	20,09	0,58	2,11
50	200	19,64	0,45	2,56
50	250	19,24	0,40	2,96
100	350	18,55	0,69	3,65
150	500	17,77	0,78	4,43
200	700	17,01	0,76	5,19
200	900	16,45	0,56	5,75
200	1100	16,02	0,43	6,18

» Ces résultats ont été traduits sur une courbe (*fig. 9*) dans

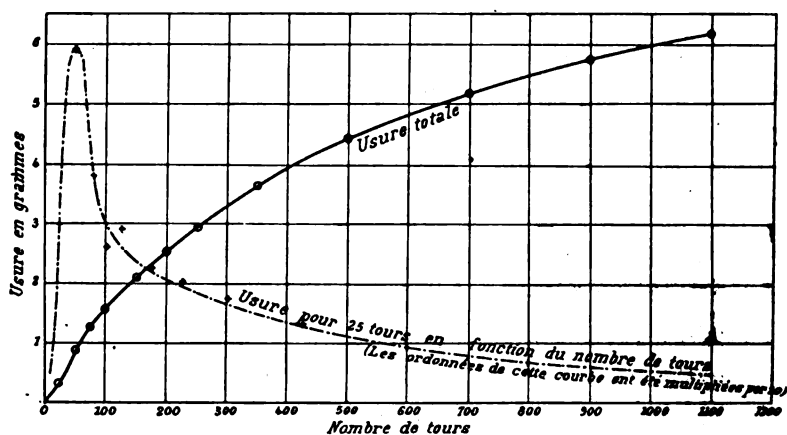


Fig. 9. — Usure d'un bloc en fonction du nombre de tours du disque.

laquelle on a porté en abscisses des longueurs proportionnelles au nombre de tours du disque à partir du commencement de l'essai et en ordonnées les sommes des usures.

TRACES SUR PAPIER.

» Lorsqu'on frotte à la main un bloc de charbon sur du papier, il laisse une trace qui diffère suivant la nature du charbon et la main

éprouve en même temps une sensation variable avec la dureté, les qualités lubrifiantes du charbon, le grain du papier, etc.

» Quoique ce genre d'essai ne se prête pas à des définitions précises des conditions d'expériences, il peut fournir des indications intéressantes et il a paru utile de le signaler.

» Le rapport était accompagné de feuilles de papier sur lesquelles on avait fait deux séries de traces, avec trois blocs de chaque qualité.

» *Première série.* — Traces (traits) obtenues lorsqu'on passe une fois un bloc sur le papier en l'appuyant sur un des sommets.

» *Seconde série.* — Traces obtenues lorsqu'on frotte dix fois un bloc au même endroit du papier en l'appuyant sur une des petites faces terminales.

ÉLECTROLYSE.

» Lorsqu'un charbon constitue l'électrode positive dans l'électrolyse de certaines solutions de sels, il se désagrège peu à peu pendant la durée du passage du courant.

» On a mesuré quelle était la perte de masse résultant de cette désagrégation dans l'électrolyse avec des solutions de chlorure de sodium et de sulfate de sodium.

» Le dispositif employé dans les deux cas est représenté dans la figure 10.

» Le bloc de charbon, serré entre les ressorts en laiton servant d'amenée de courant, était immergé dans le liquide sur une hauteur de 4 cm.

» L'intensité du courant qu'on faisait passer était de 2,5 ampères, de telle sorte qu'en négligeant la surface de la petite face inférieure du bloc, la densité de courant était environ 0,1 ampère par millimètre carré.

» L'électrode négative était constituée par une lame de plomb repliée de façon à entourer le charbon sur 4 faces.

» Le bac qui contenait la solution était cylindrique et avait environ 10 cm de diamètre sur 15 cm de hauteur. On y mettait 1 litre de la solution.

» Les charbons étaient d'abord desséchés à 100°C. dans une

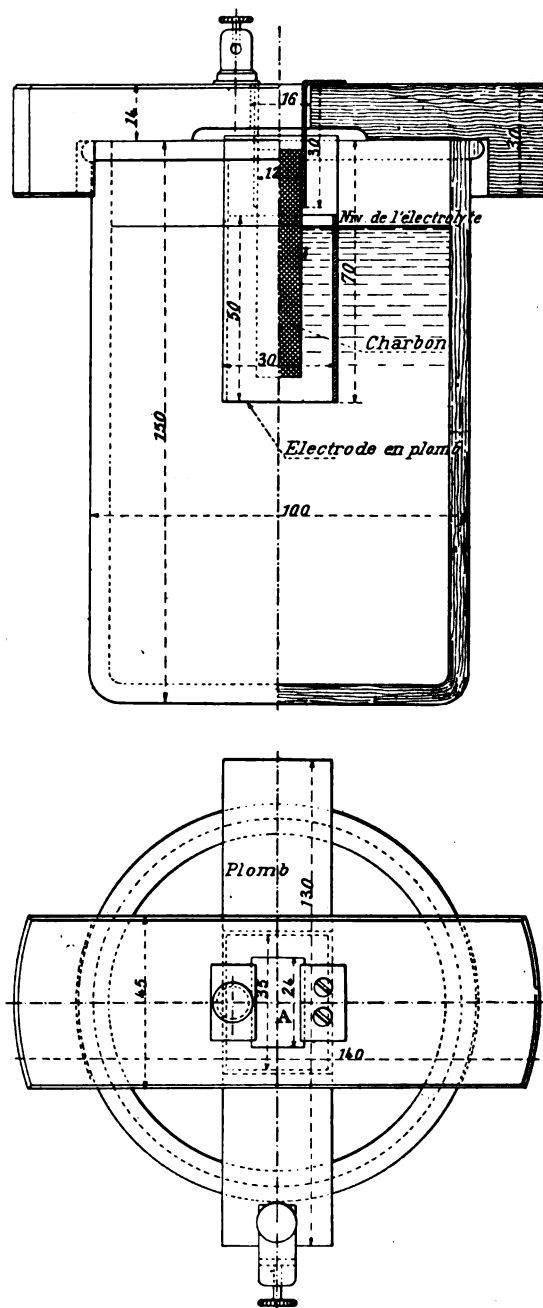


Fig. 10. — Dispositif pour essais d'électrolyse.

étuve pendant 3 à 6 heures.

» (On a d'ailleurs constaté, par des pesées avant et après dessiccation, que la diminution de masse n'a jamais été supérieure à $\frac{5}{1000}$ de la masse primitive et, dans la plupart des cas, a été inférieure à $\frac{1}{10000}$).

» Les blocs une fois pesés étaient disposés dans les bacs à électrolyse.

» Dans chaque série d'expériences on a monté en série 14 bacs correspondant aux 14 qualités de charbon, de telle sorte que, dans une même série, les charbons ont été soumis à un régime aussi identique que possible.

» On faisait alors passer un courant continu d'une intensité égale à 2,5 ampères, les charbons constituant les électrodes positives.

» L'intensité du courant a été maintenue pendant 5 heures dans quatre expériences et pendant 2 heures 30 minutes dans une cinquième avec solution de sulfate de sodium.

» Après l'arrêt du courant, on laissait les choses en état pendant 16 heures environ, afin de voir s'il n'y aurait pas quelques observations intéressantes à faire sur les solutions reposées.

» Les charbons étaient ensuite sortis du liquide, lavés à grande eau et placés pendant 6 heures dans de l'eau bouillante qu'on changeait deux fois.

» Une fois sortis de l'eau, on les laissait sécher à l'air pendant 12 heures environ, puis on les mettait pendant 6 heures dans une étuve à 100°C.

» Après refroidissement, à l'abri de l'air, on procédait aux pesées.

» Les résultats obtenus dans les cinq séries d'essais sont résumés dans le Tableau ci-après qui renferme :

» 1° La masse (M) de chaque bloc desséché avant l'électrolyse;

» 2° La masse (m) de chaque bloc desséché après l'électrolyse;

I. — ÉLECTROLYSE DANS UNE SOLUTION DE CHLORURE DE SODIUM.

La solution renfermait 10 g de chlorure de sodium par litre d'eau.

Le sel employé était du *chlorure de sodium pur* de la maison Poulenc frères.

NaCl. — PREMIÈRE SÉRIE. — *Durée de l'électrolyse : 5 heures.*

Marques des blocs.	Masse (g).	
	Avant <i>M.</i>	Après <i>m.</i>
M a — 16	23,670	21,880
M i — 16	21,605	19,306
M o — 16	21,965	19,306
N a — 16	21,503	20,148
N i — 16	22,723	19,945
N o — 16	22,595	19,600
T a — 16	21,100	5,595
T i — 16	19,862	14,983
T o — 16	19,132	14,504
V a — 16	20,993	17,787
V i — 16	20,336	18,766
Z a — 16	21,247	10,255
Z i — 16	20,883	17,568
Z o — 16	20,746	18,438

NaCl. — DEUXIÈME SÉRIE. — *Durée de l'électrolyse : 5 heures.*

Marques des blocs.	Masse (g).	
	Avant <i>M.</i>	Après <i>m.</i>
M a — 17	22,934	21,116
M i — 17	21,400	19,347
M o — 17	21,870	19,378
N a — 17	20,588	19,396
N i — 17	22,575	20,249
N o — 17	22,392	19,551
T a — 17	21,158	7,156
T i — 17	20,204	15,437
T o — 17	20,525	17,357
V a — 17	20,753	16,942
V i — 17	20,848	18,245
Z a — 17	20,980	14,810
Z i — 17	20,833	17,790
Z o — 17	20,657	18,712

II. — ÉLECTROLYSE DANS UNE SOLUTION DE SULFATE DE SODIUM.

La solution renfermait 10 g de sulfate de sodium par litre d'eau.

Le sel employé était du *sulfate neutre de sodium pur* de la maison Poulenc frères.

SO^4Na^2 . — PREMIÈRE SÉRIE. — *Durée de l'électrolyse : 2 heures 30 minutes.*

Marques des blocs.	Masse (g).	
	Avant <i>M.</i>	Après <i>m.</i>
<i>M a</i> — 18.....	23,218	20,750
<i>M i</i> — 18.....	21,796	19,730
<i>M o</i> — 18.....	22,381	20,415
<i>N a</i> — 18.....	21,183	19,672
<i>N i</i> — 18.....	22,150	20,685
<i>N o</i> — 18.....	22,478	20,712
<i>T a</i> — 18.....	22,024	15,843
<i>T i</i> — 18.....	20,105	17,287
<i>T o</i> — 18.....	19,303	16,564
<i>V a</i> — 18.....	20,363	17,446
<i>V i</i> — 18.....	21,063	18,153
<i>Z a</i> — 18.....	21,200	18,847
<i>Z i</i> — 18.....	20,797	17,872
<i>Z o</i> — 18.....	20,603	18,546

SO^4Na^2 . — DEUXIÈME SÉRIE. — *Durée de l'électrolyse : 5 heures.*

Marques des blocs.	Masse (g).	
	Avant <i>M.</i>	Après <i>m.</i>
<i>M a</i> — 19.....	23,233	17,974
<i>M i</i> — 19.....	21,765	17,297
<i>M o</i> — 19.....	21,574	17,057
<i>N a</i> — 19.....	21,084	17,944
<i>N i</i> — 19.....	22,281	18,822
<i>N o</i> — 19.....	22,300	16,573
<i>T a</i> — 19.....	21,430	12,670
<i>T i</i> — 19.....	20,222	14,233
<i>T o</i> — 19.....	20,271	15,553
<i>V a</i> — 19.....	21,642	15,324
<i>V i</i> — 19.....	20,239	14,215
<i>Z a</i> — 19.....	21,048	15,627
<i>Z i</i> — 19.....	21,927	15,120
<i>Z o</i> — 19.....	20,036	15,709

SO⁴Na². — TROISIÈME SÉRIE. — *Durée de l'électrolyse : 5 heures.*

Marques des blocs.	Masse (g).	
	Avant <i>M.</i>	Après <i>m.</i>
Ma — 21.....	22,774	17,295
Mi — 21.....	21,636	16,907
Mo — 21.....	21,697	17,025
Na — 21.....	21,063	17,974
Ni — 21.....	22,276	19,124
No — 21.....	22,510	17,006
Ta — 21.....	21,779	11,120
Ti — 21.....	20,309	14,359
To — 21.....	19,813	14,522
Va — 21.....	20,260	14,011
Vi — 21.....	20,268	14,335
Za — 21.....	21,181	15,757
Zi — 21.....	20,941	15,103
Zo — 21.....	20,650	16,225

OBSERVATIONS.

» Des différences très sensibles entre la coloration des liquides contenus dans les bacs, leur opacité, la chute des particules de charbon, la façon dont elles se déposent, etc., se remarquent à simple vue au cours de l'électrolyse ou sur les liquides reposés.

» Mais ces différences ne sont pas nettement définissables et il ne paraît guère possible de les consigner avec exactitude; on signalera, à titre simplement indicatif, les remarques suivantes :

» *Électrolyse dans la solution de chlorure de sodium.* — Pendant l'électrolyse on constate des différences entre la grosseur des particules qui se détachent des charbons, la vitesse avec laquelle elles tombent au fond des bacs et la façon dont elles se déposent.

» La température de l'électrolyte, dans les couches supérieures, est comprise, une fois le régime établi, entre 34° et 39°C. pour une température ambiante d'environ 12°.

» Les liquides se teintent plus ou moins en jaune, sauf dans les bacs correspondant aux qualités No, Va et Vi.

» Quelques minutes après la fin de l'électrolyse, des filaments

d'apparence laiteuse (renfermant du plomb) prennent naissance sur l'électrode en plomb et tombent lentement vers le fond du bac, où ils forment une légère couche blanchâtre sur le dépôt provenant de la désagrégation du charbon.

» Après un repos de 14 à 16 heures après l'électrolyse, les liquides correspondant aux qualités Ni, Ti et Zo sont encore opaques; celui correspondant à Ni est encore très coloré en noir après filtration.

» Les liquides provenant des qualités Ta et To sont moins foncés que les précédents et les autres liquides sont presque clairs.

» Dans les bacs correspondant aux qualités Na, Ni, Vi, Zi, des particules provenant de la désagrégation du charbon flottent et forment une couche noirâtre à la surface du liquide.

» *Électrolyse dans la solution de sulfate de sodium.* — Remarques analogues aux précédentes.

» Les liquides deviennent presque complètement opaques pendant l'électrolyse et ne commencent à se décanter que longtemps après l'arrêt. Dans une série d'essais, même après 40 heures de repos, les liquides étaient presque opaques, sauf ceux des qualités Mo, Na, No, Ta et Zo qui étaient clairs sur des hauteurs de 1 cm à 7 cm.

» Après plusieurs jours de repos, les liquides sont tous décantés et plus ou moins colorés en jaune, sauf pour les qualités Zo, Ma et Na.

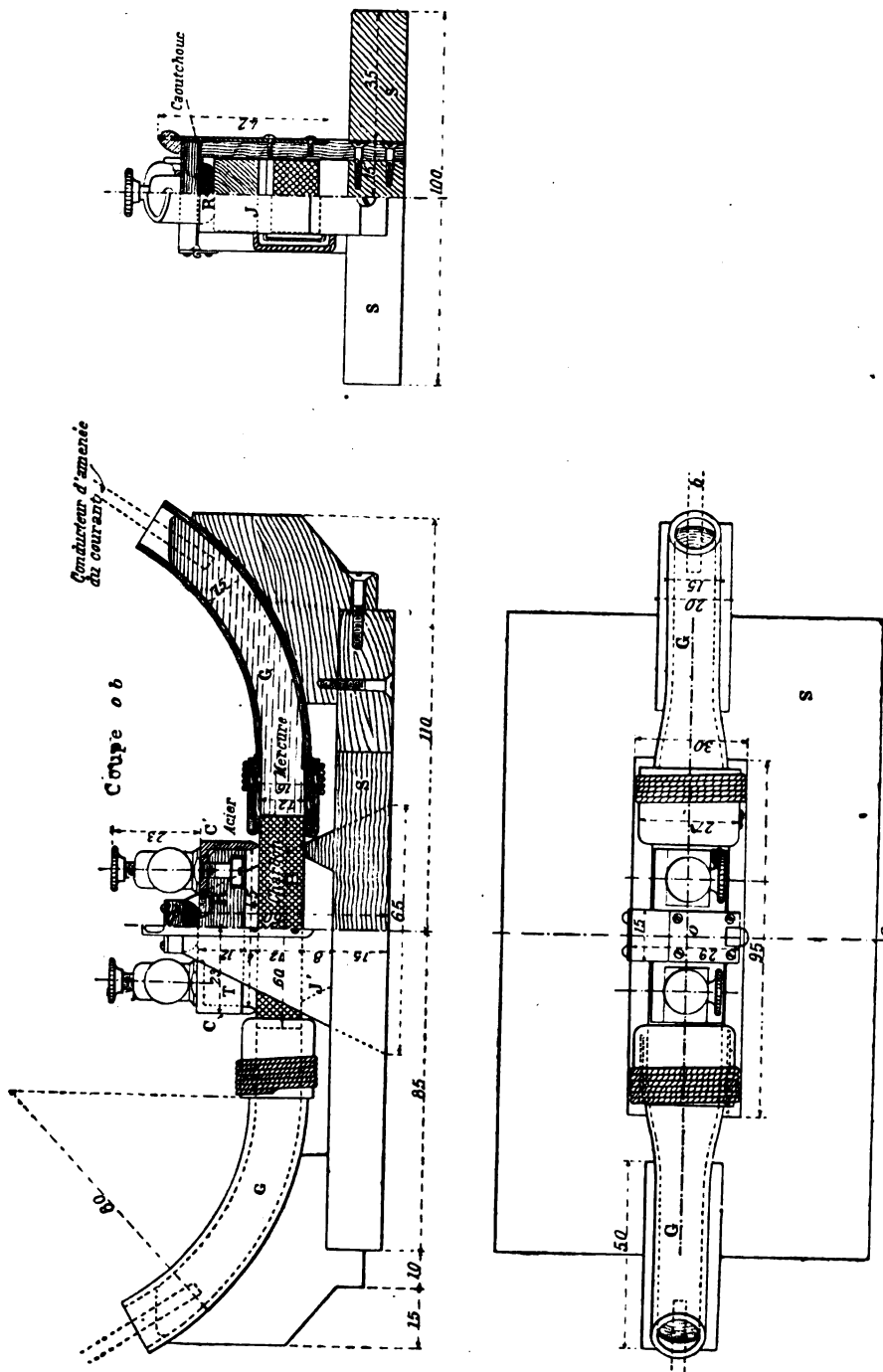
» Les liquides des qualités Ta, Ti et To sont les plus fortement teintés, les qualités Za et Na donnent des solutions moins colorées.

RÉSISTIVITÉ ET COEFFICIENT DE VARIATION DE LA RÉSISTIVITÉ AVEC LA TEMPÉRATURE.

» La *résistivité*, à la température ordinaire, des différentes qualités de charbons a été déduite de mesures de résistance faites au pont double de Kelvin et des dimensions géométriques des blocs.

» L'appareil qui a été employé pour les mesures de résistances est représenté sur la figure 11.

» Le bloc de charbon R en étude est placé, à frottement doux,



entre les joues en bois J et J' et repose sur deux prismes tronqués découpés dans le socle S (également en bois).

» Les contacts des prises de dérivation sont obtenus au moyen des couteaux en acier C et C', fixés sur la traverse en bois T. (La distance entre les arêtes de ces couteaux était de 45 mm.)

» La pression nécessaire pour assurer les contacts est obtenue à l'aide d'un bloc de caoutchouc R comprimé entre la traverse T et une sorte de fermoir F réuni à la joue J par une charnière et venant s'engager dans un verrou à ressort fixé sur la joue J'.

» Étant donnée la faible longueur (60 mm.) des blocs de charbon, on pouvait craindre que des contacts ordinaires, pour l'amenée du courant de mesure, ne donnent lieu à une distribution irrégulière de ce courant dans la masse du bloc, aussi a-t-on réalisé ces contacts de la façon suivante :

» A chaque extrémité du bloc, on fixait un tube de caoutchouc G et G' à l'aide de bagues métalliques coulissant sur ce tube et venant le serrer sur le bloc.

» Les tubes, maintenus convenablement par des supports appropriés, étaient remplis de mercure qui venait en contact avec les extrémités du bloc; le courant était amené aux contacts ainsi constitués par des fils plongeant dans le mercure.

» Les mesures ont porté sur trois blocs de chaque qualité.

» Les résultats obtenus sont consignés dans les Tableaux suivants qui renferment :

» 1° La température ambiante (t) au moment de la mesure;

» 2° La résistivité (ρ) de chaque bloc;

» 3° La moyenne des résistivités (ρ_m) des trois blocs de chaque qualité;

» 4° Pour chaque qualité, les différences (D) en pour 100 entre la résistivité moyenne et la résistivité de chaque bloc.

» *Coefficient de variation de la résistivité avec la température.* — Ce coefficient a été déterminé par des mesures au pont de Kelvin faites sur le même bloc à deux températures différentes.

» On a utilisé à cet effet l'appareil employé pour la mesure de la résistivité à la température ordinaire; l'appareil était alors placé dans une étuve permettant d'obtenir des températures constantes d'environ 100°.

» L'appareil avec le bloc en étude était laissé dans l'étuve au moins 2 heures avant la mesure définitive; des mesures préliminaires permettaient de s'assurer que l'équilibre de température entre le bloc et l'air de l'étuve était atteint.

» En désignant par

R_t la résistance à la température t de la longueur limitée sur le bloc par les couteaux de contact (45 mm),

R_T la résistance de la même longueur à la température T ,

α le coefficient moyen de température entre les températures t et T ,

on a

$$\alpha = \frac{R_T - R_t}{R_t(T - t)}.$$

» Les essais ont porté sur un bloc de chaque qualité; les résultats obtenus sont consignés dans les Tableaux suivants.

Résistivité et coefficient de température.

Marques des blocs.	<i>t.</i> Tempé- rature en degrés C.	P. Résistivité en microhms cm		<i>D.</i> Différence en pour 100.	<i>t</i> et <i>T.</i> Températures des mesures en degrés C.		α . Coefficient moyen de température.
		de chaque bloc.	moyenne.				
Ma—10...	13	2442	2660	$\left\{ \begin{array}{l} -8,2 \\ +2,97 \\ +5,27 \end{array} \right\}$	13,5	97	—0,000 352
Ma—11...	13,5	2740					
Ma—12...	13,5	2800					
Mi—10...	15,5	3190	3165	$\left\{ \begin{array}{l} +0,79 \\ +0,47 \\ -1,26 \end{array} \right\}$	15	97,5	—0,000 300
Mi—11...	15	3180					
Mi—12...	15	3125					
Mo—10..	15	4480	4581	$\left\{ \begin{array}{l} -2,20 \\ -1,33 \\ +3,58 \end{array} \right\}$	15	97,5	—0,000 213
Mo—11...	15	4520					
Mo—12...	16	4745					
Na—10...	16,5	1493	1494	$\left\{ \begin{array}{l} -0,06 \\ -2,61 \\ +2,74 \end{array} \right\}$	16	97,5	—0,000 088
Na—11...	16	1455					
Na—12...	16	1535					
Ni—10...	18	4900	5363	$\left\{ \begin{array}{l} -8,52 \\ +6,28 \\ +2,35 \end{array} \right\}$	18	98	—0,000 347
Ni—11...	18	5700					
Ni—12...	18	5490					

Résistivité et coefficient de température (suite).

Marques des blocs.	t . Tempé- rature en degrés C.	ρ . Résistivité en microhms cm		D . Différence en pour 100.	t et T . Températures des mesures en degrés C.		α . Coefficient moyen de température.
		de chaque bloc.	moyenne.				
No — 10...	16	2880	2810	(+2,49)	16	17,5	—0,000 278
No — 11...	16	2800		(—0,35)			
No — 12...	16	2750		(—2,14)			
Ta — 10...	16	5828	6037	(—3,47)	16	97,5	—0,000 484
Ta — 11...	16	6083		(+0,76)			
Ta — 12...	16	6200		(+2,70)			
Ti — 10...	18	7680	8496	(—9,61)	18	97,5	—0,000 385
Ti — 11...	18	8590		(+1,10)			
Ti — 12...	17,5	9220		(+8,53)			
To — 10...	16	4570	4506	(+1,40)	16	97,5	—0,000 762
To — 11...	16	4380		(—2,80)			
To — 12...	16	4570		(+1,40)			
Va — 10...	17	3830	3892	(—1,59)	16	97,5	—0,000 485
Va — 11...	16	3920		(+0,72)			
Va — 12...	16	3926		(+0,37)			
Vi — 10...	16	2845	2900	(—1,89)	17	97,5	—0,000 842
Vi — 11...	17	2880		(—0,69)			
Vi — 12...	17	2975		(+2,58)			
Za — 10...	17	6000	5826	(+2,98)	17	97,5	—0,000 338
Za — 11...	17	5700		(—2,16)			
Za — 12...	18	5780		(—0,79)			
Zi — 10...	16	2295	2376	(—3,41)	16	97	—0,000 836
Zi — 11...	16	2385		(+0,37)			
Zi — 12...	16	2450		(+3,12)			
Zo — 10...	16	3120	2931	(+6,41)	16	97,5	—0,000 762
Zo — 11...	16	2830		(—3,44)			
Zo — 12...	16	2845		(—2,93)			

RÉSISTANCE DE CONTACT ET FROTTEMENT.

» On a essayé de rechercher si les phénomènes de résistance de contact et de frottement d'un bloc de charbon et d'un disque de

cuiivre seraient susceptibles de donner des indications utiles (au point de vue auquel on s'était placé).

» L'appareil employé pour ces essais est représenté dans les figures 12 et 13.

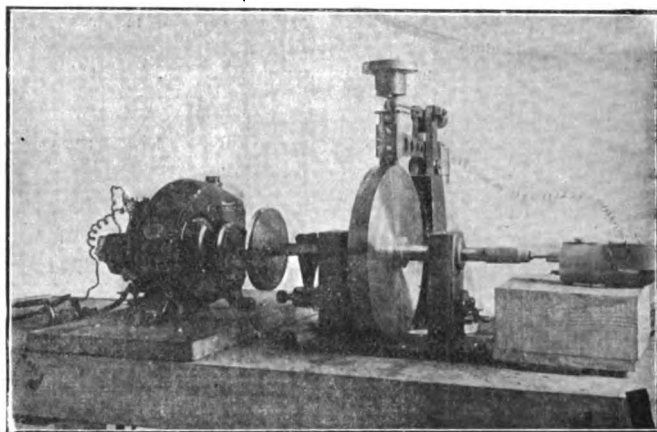


Fig. 12. — Appareil pour les essais de résistance de contact et de frottement.

» Le bloc de charbon B est fixé par serrage à l'extrémité du levier en bronze ajouré L pivotant autour de l'axe O solidaire du bâti en bronze S.

» Le bloc s'appuie par la petite face inférieure sur la périphérie d'un disque en cuivre électrolytique D, ayant 200 mm de diamètre et 25 mm d'épaisseur.

» La pression de contact est obtenue à l'aide d'un poids P constitué par une masse de plomb s'emboitant dans une pièce maintenue au-dessus du bloc de charbon par un levier articulé en O'.

» Un petit cylindre métallique est intercalé entre la face supérieure du bloc, sur laquelle il peut rouler, et le levier de façon à transmettre la force due au poids P sans introduire de forces parasites et à faire passer cette force par le plan axial du bloc.

» Les leviers sont munis de contrepoids C et C', permettant de les équilibrer de telle sorte que la pression du charbon sur la périphérie du disque soit due uniquement au poids P.

» Le disque D était monté sur un arbre supporté par deux paliers situés de part et d'autre du disque; il était mis en mouvement par un moteur électrique à courant continu, actionnant l'arbre par l'intermédiaire d'un accouplement élastique.

» Un cinémomètre, monté à poste fixe à l'autre bout de l'arbre du disque, indiquait la vitesse à chaque instant.

» Le support du bloc de charbon, le bâti des paliers de l'arbre

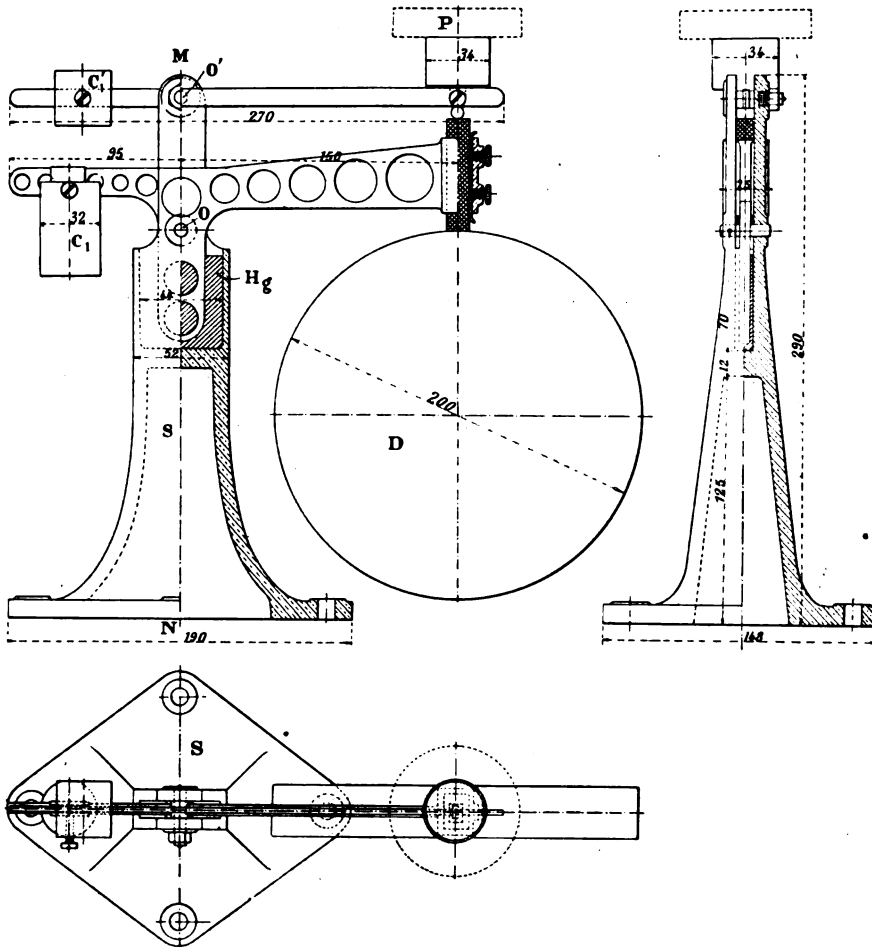


Fig. 13. — Appareil pour les essais de résistance de contact et de frottement.

du disque et le moteur électrique étaient indépendants, de façon à éviter autant que possible les perturbations dues aux vibrations.

» Le circuit amenant le courant continu traversant le contact charbon-disque était connecté, d'une part au socle S, support des leviers, et d'autre part au bâti des paliers du disque.

» Pour assurer un bon contact électrique entre le socle S et le levier porte-bloc, ce levier est muni d'un appendice s'engageant avec du jeu dans une cavité ménagée dans le socle au-dessous de

l'axe O; cette cavité est remplie de mercure assurant un bon contact tout en permettant au levier de tourner librement autour de son axe O.

» Le passage du courant au disque se faisait à la fois par les paliers et par un frotteur appuyé sur une des faces latérales du disque.

» Les prises pour la mesure de la différence de potentiel à étudier étaient faites d'une part sur le levier porte-bloc et d'autre part sur l'axe du disque.

» Une série d'essais préliminaires a montré que les phénomènes de résistance de passage et de frottement sont très complexes, et que des précautions minutieuses doivent être prises pour obtenir des résultats comparables.

» La différence de potentiel entre le bloc de charbon et le disque en cuivre est influencée, pour un même bloc, par :

La densité du courant,
Le sens de ce courant,
La température du disque et celle de l'air ambiant,
La pression d'application,
La durée de l'essai,
Les vibrations,

et par d'autres causes inconnues.

» Aussi, sans vouloir étudier en détail les lois des phénomènes en fonction des principales variables indiquées par les essais préliminaires, on a cherché si, pour certaines valeurs de ces variables, les résistances de contact et de frottement pouvaient servir à caractériser les différentes qualités de charbon.

» On a donc choisi, pour la densité du courant dans le contact, pour la pression de contact et pour la vitesse périphérique du disque, des valeurs moyennes qu'on a conservées pour tous les essais.

» On a adopté les valeurs suivantes :

» Intensité du courant dans le contact : 24 ampères, soit 10 a : cm²;

» Pression totale sur le balai : 600 g, soit 250 g : cm²;

» Nombre de tours du disque : 1200 t : m;

» Vitesse périphérique de 12,5 m : s.

» Pour chaque bloc on relevait, en même temps, que la puissance absorbée par le moteur, la différence de potentiel entre le levier

porte-bloc et le disque ; 1° à l'arrêt, 2° pendant la rotation et, dans les deux cas, pour les deux sens du courant.

» En outre, sur chaque bloc on a fait les mesures :

» 1° Pour une face à laquelle on donnait la courbure de la périphérie du disque par usure sur du papier d'émeri de plus en plus fin disposé entre le charbon et le disque ;

» 2° Pour une face brute, c'est-à-dire telle qu'elle était sur le bloc livré par le fabricant, face qui peut être considérée pratiquement comme plane.

» La périphérie du disque était soigneusement polie entre chaque opération.

» Le courant continu passant à travers le contact était fourni par des accumulateurs.

» Température ambiante pendant les essais : 12° à 16°C.

» Après 30 minutes de marche et avec une intensité de courant de 24 ampères, la température du disque était d'environ 25° et restait à peu près fixe ensuite.

» Les essais ont porté sur un échantillon de chacune des 14 qualités, ainsi que sur un bloc de graphite naturel et un bloc en matière dite *métallium* (sorte d'aggloméré de charbon et de poussières métalliques). Ce dernier bloc avait une section droite de $1,5 \times 1,2 = 1,8 \text{ cm}^2$, il a été appliqué contre le disque par un poids de 600 g comme les autres blocs (soit 333 g : cm^2), et l'intensité de courant a été également maintenue à 24 ampères (soit 13,3 a : cm^2).

» Au cours des essais, on a fait les principales observations suivantes :

» *Résistance de contact.* — 1° La différence de potentiel entre le balai et le disque, soit à l'arrêt, soit en marche, a été trouvée notablement plus petite lorsque le contact se faisait sur la face brute que lorsqu'il se faisait sur la face préparée, comme il a été dit plus haut, avec l'idée d'obtenir un meilleur contact.

» En outre, la différence de potentiel avait des variations moindres et atteignait plus rapidement sa valeur limite avec la face brute qu'avec la face travaillée.

» 2° La différence de potentiel entre balai et disque dépend du sens du courant ; elle est plus grande lorsque le courant passe du

balai au disque que lorsque le courant passe du disque au balai.

» 3° Une pression de 250 g par centimètre carré n'assure pas un contact bien défini à l'arrêt et la différence de potentiel varie beaucoup pour différentes positions du disque ; néanmoins, la différence de potentiel à l'arrêt a été trouvée inférieure à la résistance de contact pendant la rotation du disque.

» 4° Lorsque le disque est en mouvement, il faut un certain temps pour que la différence de potentiel prenne une valeur à peu près fixe ; en général, la différence de potentiel décroît pendant 15 à 30 minutes à partir de la mise en route et reste ensuite à peu près constante et même, dans certains cas, a tendance à croître légèrement.

» C'est cette différence de potentiel limite, obtenue après 15 à 30 minutes, qui a été donnée dans les Tableaux ci-après.

» *Frottement.* — Le frottement du balai contre le disque semble varier avec le sens du courant ; il est, en général, notablement plus faible lorsque le courant passe du disque au charbon que dans le cas contraire.

» La puissance absorbée par le frottement varie avec la durée de fonctionnement ; les valeurs indiquées dans les Tableaux sont celles correspondant aux lectures des différences de potentiel, c'est-à-dire 15 à 30 minutes après la mise en route.

» Le frottement paraît également varier avec la vitesse et d'autres causes inconnues.

» Les résultats des essais sont résumés dans les trois Tableaux suivants ; il est à remarquer que, même lorsqu'on n'a indiqué qu'une seule valeur, cette valeur est une valeur moyenne, car les aiguilles des appareils de mesure étaient presque constamment en mouvement ; quand on a porté deux valeurs, celles-ci correspondent aux valeurs moyennes extrêmes indiquées pendant un temps notable pour les aiguilles des appareils.

Différences de potentiel à l'arrêt
pour différentes positions du disque (volts).

Marques des blocs.	Pôle + au balai.		Pôle — au balai.	
	Face préparée.	Face brute.	Face préparée.	Face brute.
Ma — 40	»	0,50 à 0,70	0,40 à 0,46	0,70 à 0,90
Mi — 40	0,82 à 1,24	»	»	»
Mo — 40	0,64 à 0,8	0,60 à 0,64	0,54 à 0,60	0,84 à 1,0
Na — 40	0,36 à 0,48	0,32 à 0,40	0,18 à 0,42	0,48 à 0,54
Ni — 40	0,82 à 1,12	0,88 à 1,00	0,70 à 0,84	1,00 à 1,20
No — 40	0,48 à 0,56	0,60 à 0,72	0,36 à 0,50	0,44 à 0,58
Ta — 40	1,10 à 1,26	0,82 à 0,98	»	0,92 à 1,06
Ti — 40	1,4 à 1,62	0,76 à 0,92	»	0,99 à 1,30
To — 40	0,66 à 0,90	»	0,74 à 0,76	0,76 à 0,90
Va — 40	1,50 à 2,10	1,05 à 1,29	0,48 à 0,54	1,50 à 1,80
Vi — 40	0,88 à 1,00	0,50 à 0,62	0,56 à 0,66	0,82 à 0,94
Za — 40	1,10 à 1,20	0,80 à 1,40	0,80 à 0,86	1,00 à 1,20
Zi — 40	0,44 à 0,54	0,48 à 0,58	0,52 à 0,80	0,52 à 0,64
Zo — 40	0,60 à 0,68	0,48 à 0,60	0,57 à 0,68	0,56 à 0,70
Graphite naturel.	0,60 à 1,00	0,64 à 0,76	0,58 à 0,68	0,84 à 0,98
Métallium.....	0,066	0,16 à 0,2	0,06 à 0,066	0,056 à 0,08

Différences de potentiel pendant le mouvement (volts).

Marques des blocs.	Pôle + au balai.		Pôle — au balai.	
	Face préparée.	Face brute.	Face préparée.	Face brute.
Ma — 40	1,28	0,93	0,66	0,60
Mi — 40	1,36	0,92	0,67 à 0,70	0,67
Mo — 40	1,30 à 1,40	1,14	0,78	0,88
Na — 40	0,60 à 0,68	0,66 à 0,70	0,56 à 0,60	0,56 à 0,60
Ni — 40	1,30 à 1,52	1,26 à 1,32	0,96 à 1,00	0,80 à 0,84
No — 40	0,86 à 0,92	1,07	1,00 à 1,30	0,87
Ta — 40	1,46	1,11	0,99	1,09
Ti — 40	1,23	1,10	0,96 à 1,00	0,81
To — 40	1,48	1,03	0,87	0,76
Va — 40	1,78	1,37	1,35 à 1,65	1,35
Vi — 40	1,02 à 1,16	0,98 à 1,00	0,70 à 0,75	0,77 à 0,78
Za — 40	2,00 à 2,40	1,20 à 1,24	1,50 à 1,90	1,10 à 1,16
Zi — 40	1,08 à 1,14	0,97	0,86 à 0,88	0,78 à 0,80
Zo — 40	1,32	1,10	0,79	0,71
Graphite naturel.	1,18 à 1,32	1,20	0,62	0,94 à 0,95
Métallium.....	0,44	0,40	0,19	0,16

Puissance absorbée (déduction faite
de celle nécessaire pour entraîner le disque à vide) (watts).

Marques des blocs.	Pôle + au balai.		Pôle — au balai.	
	Face préparée.	Face brute.	Face préparée.	Face brute.
M a — 40	35	91	27	60
M i — 40	48	89	48	46
M o — 40	15	80	15	27
N a — 40	32	82	65	53
N i — 40	60	140	37	70
N o — 40	34	150	30	80
T a — 40	70	52	40	21
T i — 40	84	140	66	70
T o — 40	46	150	55	100
V a — 40	120	60	140	40
V i — 40	54	130	48	47
Z a — 40	33	77	20	30
Z i — 40	66	110	52	83
Z o — 40	84	100	60	63
Graphite naturel.	49	30	35	40
Métallium.....	25	48	30	49

CENDRES.

» Les essais concernant la détermination de la proportion des cendres ont été effectués par M. L. Étaix, chef des travaux de Chimie à la Faculté des Sciences de Paris.

» Ces essais ont été conduits de la façon suivante :

» Les blocs ont été sciés dans le sens de leur longueur; chaque bloc fournissait ainsi deux petits blocs ayant la forme de parallélépipèdes rectangles à base presque carrée et ayant 60 mm de longueur.

» Chacun de ces petits blocs pouvait tenir dans une nacelle en platine évasée, ayant une base d'environ 50 mm de longueur sur 10 mm de largeur et une hauteur de 10 mm.

» Les deux nacelles contenant les deux portions d'un même bloc primitif étaient introduites dans un tube en verre, dit *de Bohême*, ayant environ 40 cm de longueur.

» Ce tube était chauffé par une rampe à gaz.

» Les deux extrémités étaient fermées par des bouchons traversés par des tubes en verre.

» L'un de ces tubes était relié à un réservoir d'oxygène comprimé; l'autre était recourbé et plongeait dans un vase rempli d'eau; le dégagement des bulles de gaz à travers l'eau permettait de se rendre compte de la rapidité de passage de l'oxygène.

» L'oxygène était purifié et desséché, avant d'arriver dans le tube à incinération, par passage à travers des tubes contenant de la potasse et de l'acide sulfurique.

» Un détendeur et un robinet permettaient le réglage de la vitesse du courant gazeux.

» Pour ces combustions, il faut chauffer très modérément le tube à nacelles, car, si la matière à brûler contient des matières salines fusibles, il faut essayer d'éviter autant que possible la fusion de ces matières qui, une fois fondues, enrobent la masse et la protègent contre toute combustion, même dans l'oxygène.

» Pour la même raison, il faut que le courant d'oxygène soit très lent (dégagement d'une bulle toutes les 2 secondes à peu près dans le vase à eau).

» Malgré ces précautions, il n'a pas été possible d'éviter la fusion pour deux échantillons (N a — 34 et N o — 34).

» Une fois la combustion terminée, ce qui se reconnaît : 1° à l'aspect de la substance; 2° à l'absence totale d'acide carbonique dans les bulles qui se dégagent (réactif : eau de baryte), on laisse refroidir dans l'oxygène et l'on pèse.

» Les essais ont porté sur un échantillon de chaque qualité, lequel a donné deux petits blocs qui ont été pesés séparément; les résultats obtenus sont consignés dans le Tableau suivant.

Marques des échantillons.	Proportion des cendres en pour 100.		Observations.
	I.	II.	
M a — 34 . . .	1,88	2,02	Gonfle légèrement à l'incinération.
M i — 34 . . .	2,08	2,05	Id.
M o — 34 . . .	0,65	0,67	Se contracte à l'incinération.
N a — 34 . . .	3,68?	3,78?	Se contracte à l'incinération. Cendres fondues.
N i — 34 . . .	0,62	0,59	Se contracte à l'incinération et dégage des gaz.
N o — 34 . . .	3,87?	3,69?	Se contracte à l'incinération. Cendres fondues.

Marques des échantillons.	Proportion des cendres en pour 100.		Observations.
	I.	II.	
T a — 34 . . .	0,65	0,67	Gonfle légèrement à l'incinération.
T i — 34 . . .	0,52	0,52	Id.
T o — 34 . . .	3,64	3,62	Foisonne légèrement à l'incinération.
V a — 34 . . .	0,85	0,84	Gonfle légèrement à l'incinération.
V i — 34 . . .	1,03	1,04	Foisonne légèrement à l'incinération.
Z a — 34 . . .	1,09	1,08	Se contracte à l'incinération.
Z i — 34 . . .	1,06	1,04	Foisonne davantage à l'incinération.
Z o — 34 . . .	1,16	1,16	Foisonne légèrement à l'incinération.

SÉPARATION DES VARIÉTÉS DE CARBONE.

» On a cherché à séparer les variétés de carbone en deux groupes en utilisant la propriété qu'a l'acide azotique fumant, de densité 1,52, d'attaquer certaines variétés de carbone avec formation de produits gazeux (peroxyde d'azote et acide carbonique).

» Le mode opératoire était le suivant : une masse donnée de charbon (1 à 2 g) finement pulvérisé était attaquée, à chaud, dans une capsule en porcelaine, par de l'acide azotique fumant en excès. Après dessiccation, on pesait la matière restant dans la capsule.

» Les résultats obtenus sur différentes prises d'essai, faites sur un même bloc, ont été très irréguliers.

» Ces irrégularités proviennent peut-être, d'une part, de ce que tous les produits résultant de l'attaque n'étaient pas gazeux et qu'il pouvait se former une certaine quantité d'acide graphitique, dont la proportion variait avec la température à laquelle se faisait l'opération; d'autre part, une partie du carbone pouvait être brûlée par l'oxygène de l'air.

» L'opération, pour donner des résultats précis, devrait être faite dans un gaz inerte et à température constante; dans ces conditions, elle devenait compliquée pour le but poursuivi et les recherches n'ont pas été poussées plus loin dans cette voie.

EXAMEN MICROSCOPIQUE DES CHARBONS.

» Pour procéder à cet examen, on a adopté un mode opératoire analogue à celui employé pour l'examen microscopique des métaux.

» Les charbons ont d'abord été polis, à la main, sur des papiers à l'émeri de plus en plus fins. Le dernier papier utilisé était le papier n° 00000 du commerce. Le polissage sur chaque papier était poussé jusqu'à disparition des raies laissées par le papier de numéro précédent.

» Le polissage était continué à la main par frottement sur des pâtes à la poudre d'alumine de 4 heures et de 24 heures.

» Les pâtes d'alumine employées étaient fournies par la maison Poulenc frères; elles étaient étendues sur du feutre fixé sur un plateau en bois et légèrement humectées. Le temps de polissage sur chaque alumine était de 1 à 2 minutes; après chaque polissage sur alumine, l'échantillon était essuyé avec de la flanelle sèche; la surface obtenue après la dernière opération est légèrement mate; on la rendait brillante en la frottant sur un morceau de drap sec.

» Lorsque ces diverses opérations ont été faites avec soin, la surface examinée au microscope ne présente aucune raie.

» Les échantillons ainsi préparés ont été photographiés à l'aide d'un microscope photographique de M. Le Chatelier.

» L'examen des clichés avec une loupe montre qu'il existe entre les charbons des différences assez caractéristiques, suffisantes dans la plupart des cas pour que, par la seule comparaison des clichés, on puisse dire que deux échantillons ne sont pas de la même qualité.

» Le grossissement de la loupe employée pour l'examen ne doit pas être trop fort pour que les grains de la gélatine de la plaque photographique n'apparaissent pas.

» Les opérations de polissage et l'examen au microscope ont été répétés au moins deux fois sur chaque qualité de charbon, et l'on a pu constater que, *dans les mêmes conditions de polissage*, la même qualité présentait toujours le même aspect.

» Cependant les différences observées pendant l'examen au microscope ou sur les clichés ne paraissent pas définissables et ce

n'est guère que par comparaison attentive directe entre les clichés qu'on peut apprécier des aspects caractéristiques.

» *Lames minces.* — On a cherché si l'examen au microscope de lames minces taillées dans les charbons fournirait des observations intéressantes, et l'on a fait préparer dans ce but une série de lames minces de chaque qualité.

» Cet examen n'a pas paru donner des indications caractéristiques. »

INFORMATIONS.

Le premier Congrès international des Industries frigorifiques sera tenu à Paris, à la fin de juin 1908, sous la Présidence d'honneur de M. de Freycinet et la Présidence effective de M. André Lebon.

Le Programme résumé ci-dessous donne une idée de l'importance des questions traitées.

Pour tous les renseignements s'adresser à la Commission d'organisation, 10, rue Poisson, Paris, 17^e.

PREMIÈRE SECTION. — Président : M. d'Arsonval.

Les basses températures et leurs actions au point de vue physique, chimique et biologique.

Avantages et inconvénients du froid artificiel appliqué aux locaux habités (ateliers, salles de réunions et de spectacles, hôpitaux, maisons privées, etc.).

Valeur alimentaire des produits réfrigérés et congelés.

DEUXIÈME SECTION. — Président : M. Léauté.

Comparaison de la production du froid entre la compression des gaz liquéfiables et les autres méthodes frigorifiques.

Unification des mesures frigorifiques.

Données expérimentales sur la valeur des différents isolants.

Agencement frigorifique des locaux contenant des matières explosibles.

TROISIÈME SECTION. — Président : M. Gautier.

Causes et effets des modifications des denrées périssables pendant leur séjour dans les chambres froides.

Produits des Colonies susceptibles de bénéficier des applications du froid.

L'intervention du froid artificiel dans la fabrication et la conservation du beurre.

Ravitaillement des places assiégées et des troupes en campagne.

QUATRIÈME SECTION. — Président : M. Tisserand.

De l'influence de la réfrigération sur la clarification des boissons fermentées et sur leur résistance aux variations de température.

Moyen d'obtenir de la glace alimentaire pure et de l'empêcher de se contaminer.

Utilisation de la glace et services qu'elle peut rendre.

Dessiccation du vent des hauts fourneaux.

Nouvelles applications du froid industriel.

CINQUIÈME SECTION. — Président : M. Levasseur.

Les progrès du commerce des denrées périssables depuis l'application des procédés frigorifiques.

Statistiques générales.

Organisation rationnelle des transports frigorifiques en chemins de fer ; wagons, entrepôts et groupements, tarifs.

Organisation rationnelle des transports frigorifiques maritimes et fluviaux.

Installations frigorifiques à bord des chalutiers.

SIXIÈME SECTION. — Président : M. J. Cruppi.

Encouragements accordés par les gouvernements des différents États en faveur de l'Industrie frigorifique.

Vente, pendant la clôture de la chasse et de la pêche, de gibier et poissons frigorifiés.

Services que les applications du froid peuvent rendre dans l'alimentation des classes populaires.



BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ INTERNATIONALE

DES

ÉLECTRICIENS.

SOMMAIRE.

Admission de Membres titulaires, p. 482. — Éloge funèbre de M. Lœwy (M. le Président), p. 483. — Visite aux usines de Saint-Denis, p. 485. — La Commission internationale de Photométrie (M. F. Laporte), p. 487. — L'appareillage électrique à haute et à basse tension (M. Vedovelli), p. 501.

INFORMATIONS : Bibliothèque de M. Hospitalier, Cours public de Photographie, p. 548.

BIBLIOGRAPHIE, p. 549.

OUVRAGES OFFERTS, p. 551.

COMPTE RENDU

DE LA

RÉUNION ORDINAIRE MENSUELLE

du mercredi 6 novembre 1907 ⁽¹⁾.

PRÉSIDENCE DE M. E. BRYLINSKI, VICE-PRÉSIDENT.

La séance est ouverte à 8^h 35^m. du soir.

Le procès-verbal de la dernière Réunion mensuelle est adopté.

Il est donné connaissance des Ouvrages offerts pour la Biblio-

⁽¹⁾ La Société n'est pas solidaire des opinions émises par ses membres dans les discussions, ni responsable des Notes ou Mémoires publiés dans le *Bulletin*.

thèque de la Société (voir p. 551) et des demandes d'admission suivantes :

MM.

Bonjus (Georges-Jean), Ingénieur électricien diplômé de l'*École supérieure d'Électricité*, 14, rue Ernest-Renan, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Cilenti (Sabino), Licencié ès Sciences physiques et mathématiques, 24, rue Berthollet, à Paris. — Présenté par MM. Nègre et Swyngedauw.

Cordier (Ferdinand), Capitaine d'Artillerie, Chef du *Service de l'Atelier de précision de la Section technique de l'Artillerie*, 1, place Saint-Thomas-d'Aquin, à Paris. — Présenté par MM. le Capitaine Binet et Maugas.

David (Raoul-Charles), Chef d'escadron au 15^e régiment d'Artillerie, 35, rue du Clocher-Saint-Pierre, à Douai (Nord). — Présenté par MM. Armagnat et Brunswick.

Enrique (Masó-Escubós), Directeur de la *Centrale électrique de Martorell*, *P. Electricien*, Rambla Estudios, 3-2^e-1^a, à Barcelone (Espagne). — Présenté par MM. Armagnat et Sabourain.

Ferrère (Edmond), Administrateur-Directeur de l'*Hydro-Électricité de la Dronne*, à Bonnes, par Aubeterre-sur-Dronne (Charente). — Présenté par MM. Armagnat et Sabourain.

Franck (Charles-Henri), Ingénieur du *Service électrique à la Compagnie des Mines de Béthune*, à Bully-les-Mines (Pas-de-Calais). — Présenté par MM. J. Rey et Mix.

Gorce (Paul-Marie-Michel-Étienne DE LA), Ingénieur, attaché au *Laboratoire central d'Électricité*, 2, rue de Commaille, à Paris. — Présenté par MM. Janet et F. Laporte.

Kissel (Edmond-Florent-Alphonse), 198, rue de Vaugirard, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Mehmed Emin (Bin Ali), Ingénieur des *Télégraphes ottomans* et Professeur de Mathématiques à l'*École normale supérieure de Constantinople*, ancien Élève de l'*École supérieure de Télégraphie de Paris*, *Bureau technique des Télégraphes ottomans* à Constantinople (Turquie). — Présenté par MM. Laudet et Verdoux.

Rosen (Jean), Ingénieur-conseil en matière de propriété industrielle, brevets d'invention, 92, rue Lafayette, à Paris. — Présenté par MM. Armagnat et Sabourain.

Sarda-Garriga (Paul-Lucien), Sous-Directeur de la *Société « Le Carbone »*, à Notre-Dame-de-Briançon (Savoie). — Présenté par MM. Street et Tonnart.

Touchard (René-Henri), Ingénieur civil des Mines, de la *Maison Palle-Bertrand et C^{ie}*, Le Chambon-Feugerolles (Loire). — Présenté par MM. Iliovici et Roy.

Tritz (Marcel), Ingénieur à la *Compagnie électro-mécanique, Matériel Brown-Boveri-Parsons*, 36, rue Damrémont, à Paris. — Présenté par MM. Danis et Schwarberg.

Vincent (Gabriel), Ingénieur à la *Compagnie d'Électricité de Marseille*, 12, boulevard National, à Marseille (Bouches-du-Rhône). — Présenté par MM. Armagnat et Sabourain.

Zammit (William), Ingénieur à l'*Énergie électrique du Sud-Ouest*, 116, cours

d'Aquitaine, à Bordeaux (Gironde). — Présenté par MM. Luszczkiewicz et Véchembre.

Ces candidats sont élus membres titulaires de la Société internationale des Électriciens.

M. le PRÉSIDENT fait part du décès de MM. *Maurice Lœwy*, *Magee*, *Rodary* et *Thouroude*; il en exprime les regrets de la Société dans les termes suivants :

M. le PRÉSIDENT. — « C'est avec un profond regret que nous voyons disparaître ainsi des hommes qui ont pris part à nos travaux et je suis assuré d'être votre interprète en exprimant à leurs familles la vive sympathie de la Société internationale des Électriciens.

» Mais il est un d'entre eux qui a dépensé trop d'activité en notre faveur, apporté à notre Société un concours trop précieux, principalement dans cette période des débuts où tout était à faire, pour que nous puissions laisser passer son nom sans exprimer tout spécialement la gratitude que nous lui devons.

» Maurice Lœwy était, en effet, non seulement un de nos plus anciens présidents, mais encore, en raison précisément des services rendus, l'un de nos présidents honoraires.

» M. Becquerel, qui s'est trouvé malheureusement empêché de venir présider notre réunion de ce soir, a dit dans une autre enceinte, avec l'autorité qui lui appartient, ce que fut l'homme et quels progrès il a réalisés dans la science astronomique. Je ne saurais mieux faire que de vous répéter le passage suivant de son allocution :

« Depuis Bessel, Lœwy fut un de ceux qui contribuèrent le plus
» aux progrès des méthodes de haute précision dans les observa-
» tions astronomiques.

» Doué d'une persévérance qui ne se laissait décourager par
» aucun obstacle, il avait cette grande force de savoir concentrer
» son activité intellectuelle sur un seul objet, jusqu'à ce qu'il eût
» atteint le but qu'il s'était proposé.

» Rappellerai-je enfin l'élévation du caractère et la bienveillance
» du cœur de notre confrère regretté, dont la belle vie de conti-
» nuité dans le travail laisse non seulement une œuvre, mais un
» exemple ?

» Ce sont cette intelligence, cette énergie et cette persévérance qui ont permis à Maurice Lœwy, bien qu'il fût plutôt astronome qu'électricien, de rendre à notre Société les signalés services que je désire rappeler brièvement.

» Maurice Lœwy fut, en l'année 1883, l'un des premiers adhérents à l'idée du groupement des électriciens et, au mois de juin de cette même année, il était élu Président du *Comité d'initiative*, qui s'est transformé peu après en *Comité d'organisation* de notre Société.

» En mars 1884, alors que notre Société faisait ses premiers pas et que son *Bulletin* en était à son second numéro, il était nommé Président de la *Commission du Bulletin*.

» Un an après, en mars 1885, Lœwy secondait puissamment M. Georges Berger et l'amiral Mouchez dans l'organisation, à l'Observatoire, de la première Exposition spéciale d'Électricité. Cette Exposition, dont le succès fut considérable, était l'œuvre de notre Société, et notre premier Président, M. Georges Berger, appréciait dans le *Bulletin* de la manière la plus flatteuse le concours de tous les instants qu'avait apporté Lœwy aux organisateurs.

» Au commencement de 1886, Lœwy, qui faisait partie de la Commission du Laboratoire, prit une part très active à la création de cet établissement, et son œuvre fut tellement appréciée de ses collègues qu'il fut élu président de notre Société pour l'exercice 1886-1887.

» Pendant cette année de présidence, Lœwy déploya la plus inlassable et la plus fructueuse activité. A force de démarches, il obtint de M. Menier les locaux de la place Saint-Charles, puis, du Ministre des Postes et des Télégraphes d'abord une partie du reliquat de l'Exposition de 1881, ensuite l'affectation de la rente du fonds restant à l'entretien et au fonctionnement du Laboratoire, et parvint ainsi à créer et à faire vivre ce *Laboratoire central d'Électricité* qui reste un des fleurons de notre couronne.

» Entre temps, Lœwy obtenait pour notre Société la déclaration *d'utilité publique*, qui lui donne la personnalité civile; il secondait M. Georges Berger dans ses démarches auprès de la Municipalité et des Services de la Ville de Paris pour obtenir la concession de terrains et de locaux propres à l'installation définitive du Laboratoire

central; il intéressait à ce Laboratoire, dont la direction avait été confiée à M. de Nerville, les constructeurs de matériel électrique et obtenait d'eux, tant en espèces qu'en appareils, des subventions considérables qui assuraient définitivement son existence.

» L'œuvre de Lœwy fut si importante que M. Mascart, qui lui succédait en 1887 à la présidence de notre Société, l'apprécia en ces termes : « Grâce au dévouement de M. Lœwy, la Société est » affermie par la reconnaissance d'utilité publique, par des finances » prospères, par la possession de 330 000^{fr}, par la création d'un » Laboratoire qui trouvera bientôt une installation définitive dans » un local qui lui appartienne....

» Aussi suis-je heureux de vous transmettre la proposition suivante : Le Comité d'administration a pensé qu'il devait proposer » à vos suffrages la nomination de M. Maurice Lœwy comme Président honoraire. »

» A mesure que les jeunes générations viennent en phalanges pressées renforcer nos rangs et assurer à notre Société une existence de plus en plus élargie, nous voyons, par un phénomène contraire et malheureusement inéluctable, s'éclaircir les rangs des fondateurs qui ont été à la peine plus encore qu'à l'honneur, et s'estomper de plus en plus la notion du rôle, cependant prépondérant, qu'ils ont joué. C'est pourquoi il est nécessaire de rappeler de temps à autre que, si notre Société est née et a pris le développement que nous admirons, c'est grâce au dévouement éclairé et infatigable de quelques-uns, auxquels nous conservons une vive gratitude.

» Que la famille de Maurice Lœwy, durement frappée par un coup aussi imprévu que cruel, sache du moins dans sa profonde douleur combien notre Société reste reconnaissante à son cher disparu. »

M. le PRÉSIDENT informe la Réunion qu'une visite de la Société aux usines de Saint-Denis aura lieu dans le courant du mois; des circulaires seront à cet égard envoyées aux Sociétaires.

L'ordre du jour appelle les Communications techniques.

LA COMMISSION INTERNATIONALE DE PHOTOMÉTRIE

(Réunion de Zurich, juillet 1907).

M. F. LAPORTE. — « Le Congrès de l'Industrie du gaz, qui s'est tenu à Paris en 1900, a institué la Commission internationale de Photométrie.

» Le but de cette Commission est d'étudier les méthodes photométriques en usage dans les différents pays, de choisir et de préciser les règles qui seront recommandées pour l'étude des becs à incandescence et pour le contrôle des qualités du gaz. Les méthodes employées actuellement pour ce dernier usage sont celles qui avaient été créées quand on ne connaissait que les becs à flamme. Aujourd'hui que l'emploi des manchons Auer est généralisé et que l'éclairage à flamme directe a presque disparu, la modification du procédé de contrôle peut être nécessaire.

» La Commission de Photométrie a été amenée tout d'abord à rendre comparables les résultats photométriques obtenus dans les différents pays. Le premier problème qui se présentait était donc de déterminer la valeur relative des lampes employées comme étalon.

» A la première réunion de la Commission, en 1903, à Zurich, le Dr Bunte présenta un Tableau résumant les travaux publiés jusqu'à ce moment-là sur cette question (¹). A la suite de son Rapport il proposa à la Commission de faire entreprendre un travail photométrique dans le but d'établir les rapports des étalons usuels adoptés en Allemagne, en Angleterre et en France.

» Il fut donc décidé que dans chaque pays séparément on procéderait à une nouvelle détermination expérimentale des intensités relatives des étalons de lumière actuellement en usage dans ces pays dans le but de fixer les rapports de ces unités techniques. La Commission internationale de Photométrie recommanda que les

(¹) *Recueil des Travaux de la Commission internationale de Photométrie*. Première session; juin 1903. Publié par les soins de la Société Technique de l'Industrie du Gaz en France.

essais comparatifs des étalons lumineux fussent exécutés :

Entre la lampe Hefner et la lampe Carcel.

Entre la lampe Hefner et la lampe Vernon-Harcourt de 10 bougies.

Entre la lampe Carcel et la lampe Vernon-Harcourt de 10 bougies.

» Conformément à cette décision, des études ont été faites simultanément à l'Institut impérial Physico-technique de Charlottenburg, au Laboratoire national de Physique de Teddington et, en France, au Laboratoire d'essais du Conservatoire des Arts et Métiers en même temps qu'au Laboratoire central d'Électricité. Je ne m'attarderai pas au sujet de cette étude qui a été publiée, il y a un an, dans le *Bulletin de la Société* (1).

» Dans le courant de l'année dernière, grâce à l'intérêt et au concours que M. H. Fontaine et que la Société technique du gaz ont bien voulu prendre à ces recherches, le Laboratoire central d'Électricité a pu réaliser un projet déjà ancien; nous avons pu aller, M. R. Jouaust, Chef de travaux au Laboratoire, et moi, au Laboratoire national de Physique à Teddington et à l'Institut impérial Physico-technique de Charlottenburg.

» Nous avons emporté, pour les faire essayer à Berlin et à Londres, une série de lampes à incandescence électrique qui ont été étudiées à Paris, avant et après chacun de ces voyages.

» Les résultats obtenus ainsi donnaient les rapports des unités lumineuses françaises, allemandes et anglaises, dans les conditions expérimentales de chacun de ces Laboratoires, et permettaient de vérifier les résultats obtenus séparément pour les mêmes rapports dans chacun de ces pays.

» Il était, en outre, très intéressant pour deux ingénieurs du Laboratoire central de visiter ces beaux établissements étrangers et de pouvoir étudier sur place les méthodes photométriques employées.

» J'exprime ici mes remerciements personnels à M. H. Fontaine et à M. Vautier, et je signale la Société technique du gaz à la reconnaissance de la Société.

(1) LAPORTE et JOUAUST, *Étude sur le rapport des trois lampes, Carcel, Hefner et Vernon-Harcourt* (*Bulletin de la Société Internationale des Électriciens*, 2^e série, t. VI, 1906).

» La Commission internationale de Photométrie ⁽¹⁾ réunie à Zurich, du 18 au 20 juillet 1907, sous la présidence de M. Vautier, avait tout d'abord à discuter les trois travaux qui lui étaient présentés et à y apporter une conclusion en fixant la valeur des rapports des lampes à flamme servant d'étalon.

» Une Sous-Commission fut nommée pour préparer le travail; on discuta tout d'abord comment il convenait de définir le rapport des trois lampes. Au point de vue mathématique il faut et il suffit que deux nombres soient fixés pour définir les valeurs relatives de trois grandeurs. En théorie ce raisonnement est indiscutable.

» Mais il s'agit ici non de grandeurs absolues mais de phénomènes physiques. Les rapports obtenus résultent de mesures photométriques et, par conséquent, ne présentent qu'une certaine approximation. On doit donc éviter de raisonner avec une rigueur

(1) La Commission était composée comme il suit :

Président :	MM. VAUTIER, Professeur à l'Université de Lyon.
Vice-Présidents :	NOLTE, Président de l'Association allemande des gaziers. HELPS, Ingénieur en chef de l'Usine à gaz de Croydon (Angleterre).
Secrétaire-général :	DELAHAYE, ancien Président de la Société Technique du gaz.
Secrétaire :	WEISS, Directeur du Service municipal du gaz à Zurich.
Membres : Allemagne.	MM. Le Professeur BRODHUN, Institut impérial Physico-technique, Charlottenburg.
—	Le Professeur DREHSCMIDT, Chimiste des Usines à gaz, Berlin.
—	Le Docteur HUGO KRUS, Constructeur d'appareils de précision, Hamburg.
Angleterre.	PATERSON, Délégué du National Physical Laboratory.
Autriche.	Le Professeur STRACHE, École technique supérieure Impériale et Royale, Vienne.
France.	LAPORTE, Sous-Directeur du Laboratoire central d'Électricité.
—	LAURIOL, Ingénieur en chef des Services d'éclairage de la Ville de Paris.
—	SAINT-CLAIRE DEVILLE, Ingénieur à la Compagnie Parisienne du Gaz, Paris.
Italie.	BOEHM, Directeur de l'Usine à gaz de San Celso, Milan.
Pays-Bas.	TERNEDEN, Chimiste à l'Usine municipale à gaz d'Amsterdam.

mathématique et tenir compte de la manière dont les expériences ont été conduites.

» Dans les travaux faits en Allemagne, en Angleterre et en France, une même lampe électrique à incandescence a été successivement comparée aux trois lampes à flamme. Ces mesures ont été répétées un grand nombre de fois, et c'est la valeur moyenne qui a été prise pour le calcul définitif.

» On a donc obtenu, en réalité, trois rapports : ceux d'une même lampe tare avec chacun des étalons à flamme.

» En groupant ces trois résultats deux à deux on obtient, d'une façon parfaitement symétrique, les rapports cherchés. Il est facile de choisir les nombres proposés avec l'approximation que comportent les mesures. Au contraire, en fixant deux rapports seulement et en spécifiant, par exemple, que les résultats ont une approximation de 1 pour 100, le troisième rapport qui se déduirait des deux premiers serait, par conséquent, approché à 2 pour 100, ce qui, d'ailleurs, ne correspond pas aux expériences faites, puisque les essais ont été conduits d'une façon symétrique.

» De plus, dans cette question de mesures photométriques, aussi contestée pour sa précision, il importait de bien spécifier que ce n'était pas le calcul seul qui avait donné le troisième rapport, mais que lui aussi résultait d'expériences.

» Après d'assez longues discussions préliminaires, la Sous-Commission s'étant mise d'accord sur la présentation de trois rapports, on passa à l'étude des nombres à proposer. Il fut facile de s'entendre, les résultats obtenus étant assez voisins. On trouvera ci-après en annexe un résumé qui avait été préparé pour faciliter la discussion. Les comparaisons de l'Hefner et de la Carcel sont remarquablement concordantes. Les résultats avec le Vernon-Harcourt sont un peu moins satisfaisants à première vue, mais les divergences pas bien graves peuvent s'expliquer par l'irrégularité probable de la lampe Vernon-Harcourt du Laboratoire central d'Électricité, qui n'a pas été vérifiée au Laboratoire national de Physique d'Angleterre, et par l'emploi de méthodes différentes pour la mesure de l'humidité de l'air dans chacun des Laboratoires.

» La décision suivante fut présentée le 20 juillet à la Commission :

« La Commission internationale de Photométrie, après avoir entendu et discuté les comptes rendus des travaux des laboratoires allemands, anglais et français et sur la proposition de la Sous-Commission composée de MM. Vautier, président, Brodhun, Laporte et Paterson, accepte les valeurs suivantes pour les rapports des intensités lumineuses des lampes étalons à flamme actuellement en usage :

Carcel.....	10,7 ₈ hefner
Vernon-Harcourt.....	10,9 ₈ hefner
Vernon-Harcourt.....	1,02 ₀ carcel

» Les rapports ont été choisis pour éviter des nombres plus petits que l'unité.

» Ces valeurs sont estimées exactes à 1 pour 100, en plus ou en moins.

» Il est entendu que les valeurs précédentes s'appliquent aux intensités lumineuses des lampes fonctionnant dans les conditions atmosphériques normales pour chacune d'elles, c'est-à-dire sous la pression de 76 cm de mercure.

» La lampe Carcel avec une humidité de 10 litres de vapeur d'eau par mètre cube d'air sec.

» La lampe Hefner avec une humidité de 8,8 litres.

» La lampe Vernon-Harcourt avec une humidité de 10 litres.

» Pour mesurer l'humidité de l'air, ainsi que cela est nécessaire dans l'emploi des étalons à flamme, la Commission, sans se prononcer sur le degré d'exactitude du psychromètre à fronde ou à ventilateur, recommande l'emploi de ces appareils comme convenant le mieux pour les mesures de l'humidité. »

» Cette décision est approuvée à l'unanimité.

» Donnons quelques détails rapides au sujet des trois étalons et de leur spécification.

» La *lampe Hefner*, employée en Allemagne, a été l'objet d'une longue étude à l'Institut impérial physico-technique exécutée par le Dr Liebethal après sa spécification (1).

» La *lampe au pentane Vernon-Harcourt de 10 bougies* est employée

(1) Voir l'*Industrie électrique*, 1896.

en Angleterre pour le contrôle du gaz métropolitain, les instructions pour son usage sont spécifiées par le contrôle du Gaz (*Gas Referees*)⁽¹⁾. Une étude systématique de cette lampe a été faite par M. Paterson au Laboratoire national de Physique⁽²⁾.

» La lampe Vernon-Harcourt se compose d'un brûleur annulaire, à double courant d'air, très analogue à certains becs ronds.

» Le gaz combustible et comburant est de l'air carburé par son passage à la surface du pentane contenu dans le réservoir de la lampe. Cet hydrocarbure de faible densité est, en effet, très volatil.

» Le réglage de la flamme est assez facile et ne dépend que de l'ouverture du robinet qui commande l'entrée de l'air.

» La *Carcel* est employée comme étalon lumineux depuis le Rapport de Dumas et Regnault (12 décembre 1860) fixant les conditions d'emploi de la lampe pour servir à la vérification du pouvoir éclairant du gaz d'éclairage à Paris.

» Elle a été étudiée notamment par Audouin et Bérard en 1862⁽³⁾.

» Les prescriptions qui sont reproduites dans les divers travaux de photométrie ne donnent que quelques cotes de la lampe qui a servi aux essais de Dumas et Regnault; cotes qui semblent aujourd'hui un peu insuffisantes pour fixer un étalon lumineux avec rigueur. Heureusement, la continuité du traité de la Ville de Paris et de la Compagnie du Gaz, les traditions et les modèles du fabricant, jaloux de conserver la réputation de sa lampe et la clientèle scientifique et technique de sa maison, ont maintenu les dimensions et les formes primitives d'une manière presque complète. On m'a signalé quelques légers changements dans la disposition de pièces qui ne semblent pas pouvoir apporter de modification dans l'intensité lumineuse de la lampe.

» Quoi qu'il en soit, nous avons fait démonter la lampe Carcel qui a servi à ces essais et le dessin complet a été relevé avec soin. Les lampes ont été construites vers 1888, au moment de la fondation

(1) D^r FLEMING, *Photometry of electric lamps* (*Journal of Institution of Electrical Engineers*, 1903, p. 126).

(2) CLIF. PATERSON, *Investigations on light standards* (*Journal of Institution of Electrical Engineers*, 1907, p. 271).

(3) AUDOUIN et BÉRARD, *Étude sur les différents becs employés pour l'éclairage au gaz* (*Ann. de Chim. et de Phys.*, 3^e série, t. LXV, 1862, p. 423).

du Laboratoire. On trouvera plus loin une description sommaire de la lampe (¹).

» La mèche employée dans les essais était composée de 75 fils de coton placés parallèlement à l'axe de la lampe. Ces fils sont maintenus par un tressage de fil plus fin :

Longueur des mèches employées . . .	6,3 cm
Poids d'une mèche (moyenne)	2,14 g
Poids du décimètre de mèche	3,38 g par décimètre

» Dans une mèche pesant 2,15 g l'ensemble des 75 brins de coton pèse 2,02 g et le fil de tressage, 45 tours, 0,13 g seulement.

» L'huile de colza épurée doit être limpide et claire, la densité ne peut servir de caractère distinctif, il en est de même de l'indice de réfraction ; nous donnons néanmoins ces deux constantes de l'huile qui nous a servi :

Densité	0,917
Indice de réfraction à 20°.	1,465

» On trouvera ci-dessous un Tableau à double entrée donnant les rapports choisis par la Commission pour le passage d'une unité à l'autre. Nous avons ajouté à ce Tableau la bougie décimale à laquelle nous rapportons en France les mesures lumineuses. La bougie décimale (²) est la vingtième partie de l'unité Violle définie, en 1884, à la Conférence internationale des Unités.

» Pour exprimer en bougies décimales les intensités lumineuses mesurées en carcel nous employons le rapport donné en 1884 par M. Violle :

$$\text{Bougie décimale} = 0,104 \text{ carcel.}$$

Valeur de la	En fonction de			
	Bougie décimale.	Carcel.	Hefner.	Vernon- Harcourt.
Bougie décimale	1	0,104	1,120	0,1020
Carcel	9,60	1	10,75	0,980
Hefner	0,895	0,0930	1	0,0915
Vernon-Harcourt	9,80	1,020	10,95	1

» A propos de l'unité Violle, M. Vautier a rappelé les récents

(¹) Cette description paraîtra dans le *Bulletin* de décembre.

(²) Décisions du Congrès international d'Électricité, 1889.

progrès réalisés pour obtenir électriquement les températures élevées et a fait adopter à l'unanimité le vœu suivant :

« La Commission internationale de Photométrie, considérant les
» ressources nouvelles provenant de l'emploi du four électrique,
» notamment pour la fusion et la distillation des métaux réfractaires, ainsi qu'il résulte des travaux de Moissan, émet le vœu de
» voir poursuivre l'étude expérimentale de la fixité de la température de fusion du platine, en raison de son intérêt photométrique,
» et invite son Bureau à se mettre en communication avec les laboratoires nationaux des différents pays pour élucider ce problème. »

» MM. Brodhun et Paterson ont pu déclarer immédiatement que les Laboratoires allemand et anglais étaient prêts à continuer ou à reprendre l'étude de cette question si intéressante et si importante.

» La Commission internationale de Photométrie a écouté une intéressante Note : *Sur la Photométrie hétérochrome*, présentée par M. Lauriol. Notre savant et expérimenté collègue attire l'attention sur les dangers d'étendre à la photométrie hétérochrome les lois théoriques et expérimentales des sources lumineuses de même coloration. Avec une logique rigoureuse, reprenant la question dès l'origine, il trace un vaste programme d'études systématiques et progressives qui amèneraient à une connaissance plus approfondie de cette science.

» La Commission visita la station d'essais des combustibles de M. le professeur Constam. Dans ce laboratoire, installé d'une façon fort pratique, les diverses qualités industrielles des combustibles sont mesurées et donnent lieu à un certificat : friabilité, teneur en eau, en cendres, en matières volatiles, pouvoir calorifique, nature du coke, etc. Les Compagnies industrielles envoient périodiquement et à intervalles rapprochés les prises d'essais qui leur permettent de contrôler les fournitures qui leur sont faites.

» M. Sainte-Claire Deville analyse un travail considérable que je veux signaler en quelques mots ici, bien qu'il se rapporte uniquement à l'éclairage au gaz ; il montre par les résultats de nombreuses expériences que, pour caractériser la valeur d'un gaz pour l'éclairage à incandescence, le pouvoir calorifique suffirait. D'après ses

études sur des gaz de compositions très différentes l'essai photométrique pourrait être remplacé par un essai calorimétrique.

» M. Vautier annonce que l'enquête entreprise en Europe sur les méthodes de mesure des becs à incandescence par le gaz n'a pas réuni des documents assez nombreux pour permettre un travail de comparaison utile. Cependant, il y a déjà un point acquis : c'est que la détermination, selon les cas, de l'intensité moyenne sphérique ou hémisphérique, sera indispensable pour permettre les comparaisons des becs et des manchons.

» La Commission recommande l'étude des différentes méthodes de mesures dans le but de pouvoir déterminer, dans l'avenir, la plus satisfaisante.

» Dès à présent la Commission décide de conseiller l'emploi des symboles suivants pour caractériser les différentes intensités lumineuses qui se présentent dans un travail photométrique :

- $\mathfrak{J}_h$ Intensité lumineuse horizontale;
- $\mathfrak{J}_{\alpha s}$ Intensité lumineuse suivant une direction faisant un angle α avec l'horizon, au-dessus de l'horizon;
- $\mathfrak{J}_{\alpha i}$ Intensité lumineuse suivant une direction faisant un angle α avec l'horizon, au-dessous de l'horizon;
- $\mathfrak{J}_\circ$ Intensité moyenne sphérique;
- $\mathfrak{J}_\ominus$ Intensité moyenne hémisphérique supérieure;
- $\mathfrak{J}_\ominus$ Intensité moyenne hémisphérique inférieure;
- $\mathfrak{J}_{\alpha s}, \mathfrak{J}_{\alpha i}$ Intensités lumineuses maxima suivant une direction faisant un angle α avec l'horizon au-dessus ou au-dessous de l'horizon.

» Il m'a paru intéressant de signaler à la Société l'initiative prise par les ingénieurs de l'Industrie du Gaz. Les questions photométriques touchent aussi les électriciens.

» Il est curieux de voir que les gaziers, qui ont été si longs à adopter les notions et les mesures de répartition et de flux lumineux, prennent maintenant les devants et, en ce temps d'entente internationale, cherchent à unifier les méthodes d'essais et les symboles.

» Il faut remarquer que la présence de MM. Brodhun et Paterson, des Laboratoires nationaux d'Allemagne et d'Angleterre, implique

que ces établissements vont accepter les résolutions votées par la Commission. Les Sociétés électriques étrangères seront ainsi amenées à adhérer aux mêmes décisions.

» J'espère que la Société les adoptera aussi, du moins celles qui peuvent intéresser la Photométrie électrique, et j'ai l'intention de saisir d'une proposition analogue le Comité électrotechnique français récemment formé et dont les attributions sont justement d'unifier les définitions et de rendre comparables les données numériques sur le matériel électrique.

ANNEXE I.

EXAMEN DES RÉSULTATS TROUVÉS POUR LE RAPPORT DES TROIS ÉTALONS : CARCEL, HEFNER ET VERNON-HARCOURT.

*Présenté à la Commission internationale de Photométrie, le 18 juillet 1907,
par M. F. LAPORTE.*

« A la dernière réunion de la Commission internationale de Photométrie, à Zurich, en 1903, M. le Dr Bunte, résumant les travaux antérieurs sur cette question, donnait comme conclusion de son rapport que les valeurs les plus probables étaient les suivantes :

$$\begin{aligned}\text{Vernon-Harcourt} &= 11,4 \text{ Hefner,} \\ \text{Carcel} &= 10,9 \quad \text{—}\end{aligned}$$

» 1° En Allemagne, le travail exécuté à l'Institut impérial physico-technique, par le Dr Liebhenthal, donne, comme résultat de la comparaison de la Carcel et de l'Hefner :

$$\text{Carcel} = 10,8 \text{ Hefner.}$$

» L'Hefner étant ramené aux conditions atmosphériques normales, c'est-à-dire avec 8,8 l de vapeur d'eau par mètre cube d'air sec.

» Le Dr Liebhenthal n'a pas effectué de correction sur l'intensité lumineuse de la lampe Carcel, mais il a constaté, par des expériences directes, que le rapport de la Carcel à l'Hefner variait peu avec les conditions atmosphériques et que, par conséquent, la correction à faire subir à l'intensité lumineuse de la Carcel était voisine de celle de l'Hefner.

» Dans ces conditions, il est admis implicitement que, dans le rapport précédent, la Carcel se trouve dans les mêmes conditions atmosphériques que la lampe Hefner, c'est-à-dire que l'humidité de l'air est de 8,8 l de vapeur d'eau par mètre cube d'air sec. Si l'on veut ramener l'intensité lumineuse de la lampe Carcel correspondante à l'état atmosphérique choisi comme moyen en France, c'est-à-dire à 10 l d'eau par

mètre cube d'air sec en adoptant le coefficient de correction de 0,006 ⁽¹⁾ qui s'applique aux lampes Hefner et Vernon-Harcourt, le rapport précédent devient :

$$\text{Carcel} = 10,72 \text{ Hefner.}$$

» Pour la lampe Vernon-Harcourt, le rapport trouvé est le suivant :

$$\text{Vernon-Harcourt} = 10,9 \text{ Hefner.}$$

» La lampe au pentane fonctionnant dans les conditions atmosphériques normales en Angleterre, c'est-à-dire à 10 l de vapeur d'eau par mètre cube et la lampe Hefner avec 8,8 l.

» 2° Les résultats de l'étude faite en Angleterre par M. Paterson, au Laboratoire national de Physique, donnent les résultats suivants :

$$\text{Hefner} = 0,0914 \text{ Vernon-Harcourt}$$

ou

$$\text{Vernon-Harcourt} = 10,95 \text{ Hefner.}$$

En admettant que la lampe au pentane brûle dans les conditions normales 10 l de vapeur d'eau par mètre cube et la lampe Hefner 8,8 l seulement.

» Et pour la lampe Carcel le rapport est :

$$\text{Carcel} = 0,9825 \text{ Vernon-Harcourt,}$$

$$\text{Vernon-Harcourt} = 1,018 \text{ Carcel.}$$

» 3° Les essais entrepris en France, par M. Perot, au Laboratoire d'Essais, et par MM. Laporte et Jouaust, au Laboratoire central d'Électricité, ont donné comme résultats moyens de comparaisons directes des étalons entre eux et des comparaisons obtenues par l'intermédiaire d'une lampe à incandescence électrique, les corrections étant faites pour ramener le fonctionnement de chaque lampe dans les conditions atmosphériques normales :

$$\text{Hefner} = 0,093 \text{ Carcel,}$$

$$\text{Vernon-Harcourt} = 1,005 \text{ Carcel,}$$

$$\text{Hefner} = 0,093 \text{ Vernon-Harcourt.}$$

» D'autres comparaisons intéressantes à signaler ont été obtenues par le voyage de certains physiciens qui ont porté successivement les mêmes lampes à incandescence électrique en Allemagne, en Angleterre et en France. En comparant les valeurs obtenues, on peut calculer les rapports des intensités lumineuses des étalons de chaque pays dans les conditions mêmes de leur emploi.

» 4° En 1903, M. Sharp, de l'*Electrical Testing Laboratories* de New-York, obtient

(¹) Des essais entrepris à ce sujet, en 1906 et 1907, au Laboratoire central d'Électricité, dans des conditions atmosphériques variées et nombreuses, ont montré que la formule de correction était complexe et que la température semblait jouer un rôle, l'intensité lumineuse augmentant avec la température. Cependant, dans l'intervalle de 15° à 20°, le coefficient de variation se rapproche de la valeur indiquée pour les autres étalons.

les résultats suivants pour la moyenne des intensités lumineuses de ses lampes :

Laboratoire central d'Électricité, à Paris... Lampe E.T.L. = 16,2 bougies déc.

— — = 1,685 Carcel

Institut impérial physico-technique, à Charlottenburg.....

— = 18,12 Hefner

» On en déduit le rapport suivant :

Hefner = 0,093 Carcel.

» 5° En 1906, M. Hyde, assistant de Physique au *Bureau of Standards* de Washington, fit le même voyage et publia récemment le résultat de ses expériences.

» Les rapports obtenus par les moyennes des valeurs de 10 lampes sont les suivants :

Vernon-Harcourt = 11,19 Hefner,

Carcel = 10,73 —

Vernon-Harcourt = 1,043 Carcel.

» 6° Enfin, en 1907, le Laboratoire central d'Électricité envoya à Teddington et à Charlottenburg MM. Laporte et Jouaust, avec des lampes à incandescence; les résultats de cette série de mesures sont les suivants :

Hefner = 0,0934 Carcel,

Vernon-Harcourt = 1,027 —

d'où

Hefner = 0,0908 Vernon-Harcourt.

» En portant ces différents résultats dans le Tableau ci-après et en calculant les rapports inverses, on peut comparer les résultats de ces différents essais. Pour distinguer les chiffres donnés par les différents établissements des résultats du calcul de l'inverse, ces derniers ont été mis entre parenthèses :

Valeur de l'intensité lumineuse.		En fonction de la lampe		
		Carcel.	Hefner.	Vernon-Harcourt.
Lampe.	Carcel	(¹)...	10,72	(0,984)
		(²)...	(10,73)	0,982
		(³)...	(10,75)	(0,995)
		(⁴)...	(10,75)	"
		(⁵)...	10,73	(0,958)
		(⁶)...	(10,70)	(0,973)
	Hefner	(¹)...	(0,0933)	(0,0918)
		(²)...	(0,0930)	0,0914
		(³)...	0,093	0,093
		(⁴)...	0,0930	"
		(⁵)...	(0,0932)	(0,0894)
		(⁶)...	0,0934	0,0908
	Vernon-Harcourt	(¹)...	(1,016)	10,9
		(²)...	1,018	10,95
		(³)...	1,005	(10,75)
		(⁴)...	"	"
		(⁵)...	1,043	(11,19)
		(⁶)...	1,027	(11,01)

» L'examen de ce Tableau montre que le rapport des lampes Carcel et Hefner est concordant et sa détermination semble suffisante.

» Pour les rapports de la lampe Vernon-Harcourt avec les lampes Carcel et Hefner les résultats des trois études allemande, anglaise et française diffèrent de moins de 2 pour 100, mais les écarts obtenus avec les comparaisons de lampes transportées d'un Laboratoire à un autre atteignent 4 pour 100.

» Ces différences sont-elles dues aux erreurs accidentelles des mesures, à des différences systématiques entre les différents exemplaires des étalons ou à des évaluations différentes des conditions atmosphériques? Il est difficile de le dire.

» Dans ces conditions il semble bien suffisant de définir le rapport des unités avec deux chiffres significatifs.

» Cependant, comme on peut être amené en prenant l'inverse ou le rapport de deux coefficients et en supprimant les décimales à augmenter les erreurs, on croit utile de fixer simultanément les valeurs à adopter pour les rapports et leurs inverses.

» Suivant le cas on choisira donc l'un ou l'autre des coefficients du Tableau ci-dessous :

(¹) Recherches allemandes.

(²) Recherches anglaises.

(³) Recherches françaises.

(⁴) M. Sharp, 1903.

(⁵) M. Hyde, 1906.

(⁶) MM. Laporte et Jouaust, 1907.

Valeurs proposées pour les rapports des 3 lampes.

Valeur de l'intensité lumineuse.	En fonction de la lampe		
	Carcel.	Hefner.	Vernon-Harcourt.
Lampe. { Carcel.....	1	10,75	0,98
{ Hefner.....	0,093	1	0,0915
{ Vernon-Harcourt....	1,02	10,95	1

» Il semble que par leurs travaux récents les différents Laboratoires aient bien établi maintenant les spécifications de leurs étalons respectifs, et par suite, on estime que les valeurs des rapports indiqués ci-dessus peuvent être considérés comme approchés à 1 pour 100 en plus ou en moins. »

Nota. — La description sommaire de la lampe Carcel paraîtra dans le *Bulletin* de décembre.

M. le PRÉSIDENT remercie M. Laporte de son intéressante Communication et approuve son idée de renvoyer la question au Comité électrotechnique français; mais il pense qu'il conviendrait d'abord de saisir du sujet la Section d'études compétente du Comité.

Il en est ainsi entendu.

L'APPAREILLAGE ÉLECTRIQUE A HAUTE ET BASSE TENSION.

M. VEDOVELLI. — « Messieurs, je vais avoir l'honneur de vous entretenir de quelques questions relatives à l'appareillage électrique.

» Le développement de l'industrie électrique a été tellement grand dans ces dernières années que certaines branches, autrefois accessoires, sont devenues de la première importance.

» Dans les installations, l'appareillage cause souvent des ennuis. Ces ennuis viennent, le plus rarement, d'une mauvaise conception des appareils et, le plus souvent, d'un mauvais choix ou d'une mauvaise installation de ceux-ci.

» L'étude de l'appareillage électrique est donc, dans l'intérêt de notre industrie, une de celles qui doivent retenir votre attention.

» Je me limiterai à quelques articles du gros appareillage électrique et je devrai, pour ne pas abuser de vos instants, passer sous silence bien des points qui mériteraient un certain développement.

» J'espère que certains de nos collègues, suivant mon exemple, ne dédaigneront pas de venir vous parler également de l'appareillage et que, tous, nous en tirerons profit.

» Je vais être conduit forcément à parler de quelques appareils construits par la Maison Vedovelli, Priestley et C^{ie}, mais je m'efforcerai, croyez-le bien, de dégager des considérations générales applicables à l'appareillage électrique, de quelque fabrication soit-il.

» La nécessité d'augmenter la puissance des unités génératrices et la capacité conductrice des lignes de transport a conduit à augmenter la tension. Les installations de 4000 ou 5000 volts qui, il y a quelques années, étaient assez rares, sont maintenant très répandues ; celles comprises entre 15000 et 30000 volts sont nombreuses et l'on aborde couramment, à l'heure actuelle, celles à 50000 et 60000 volts. Nul doute que, d'ici quelques années, on monte encore plus haut.

» Par conséquent, l'appareillage électrique à haute tension est

celui qui doit nous intéresser davantage parce qu'il est l'avenir, l'appareillage à basse tension, dont je vais dire tout d'abord quelques mots, étant déjà presque relégué dans le passé.

» Je serai bref et ne retiendrai que quelques-uns des appareils qui méritent votre attention.

» *Interrupteurs.* — L'interrupteur est l'appareil qui sert à ouvrir ou fermer un circuit. Sa construction dépend donc de l'intensité qui doit le traverser et de la tension du circuit ; elle dépend également de la nature du circuit au point de vue de la capacité et de la self-induction.

» L'époque n'est pas très éloignée de nous où l'on se contentait, pour constituer un interrupteur, de mettre en présence deux masses métalliques plus ou moins grosses, dont les surfaces étaient planes et relativement bien ajustées.

» On ne tarda pas à s'apercevoir que, au point de vue électrique, deux surfaces planes ne présentaient que quelques points de contact et alors surgirent une foule de moyens pour augmenter la surface de contact. On s'arrêta aux balais plus ou moins feuilletés que vous connaissez tous, aux lames multiples et, à l'heure actuelle, les constructeurs ne semblent pas encore complètement fixés sur le meilleur moyen à employer pour constituer un bon contact.

» Une considération qui semble n'avoir pas été mise suffisamment en lumière est celle de la masse de l'appareil lui-même. Un interrupteur peut toujours être considéré comme une résistance intercalée dans le circuit et l'on doit admettre que cet interrupteur absorbe un certain nombre de watts. La meilleure construction sera celle dans laquelle, pour une masse de métal déterminée, et par conséquent dans une certaine mesure pour un certain prix de revient, le nombre de watts perdus sera le moins grand.

» Il s'ensuit donc logiquement que, lorsqu'on étudie la construction d'un interrupteur, on ne doit pas seulement voir s'il chauffe ou ne chauffe pas, mais aussi et surtout s'il absorbe plus ou moins de watts.

» Il va sans dire que, suivant les applications, l'une ou l'autre considération prédominera. Je vais, à ce sujet, prendre quelques exemples.

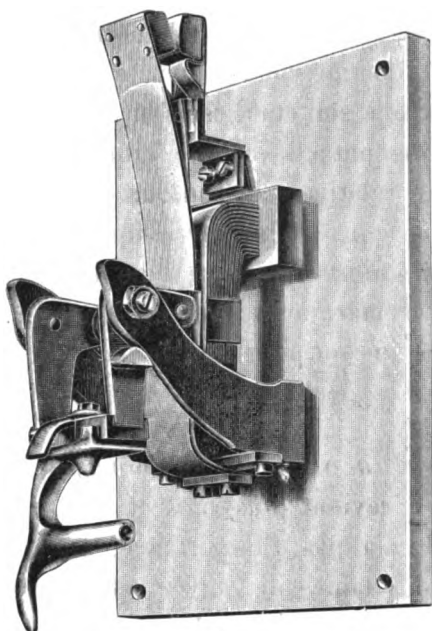


Fig. 1. — Fermé.

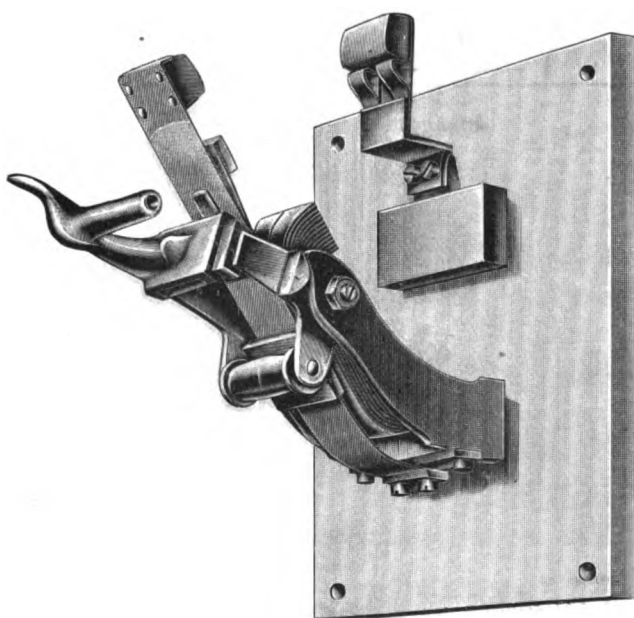


Fig. 2. — Ouvert.

» *Interrupteur Robur.* — Voici un interrupteur (*fig. 1 et 2*) qui est l'un des derniers créés par notre Maison. Il se compose essentiellement, comme vous pouvez le voir, d'un balai feuilleté et l'idée qui a présidé à son établissement a été d'obtenir un grand nombre de points de contact avec une faible quantité de métal. Aussi est-ce un appareil relativement coûteux et qui consommera peu de watts. Il devra, par conséquent, être employé toutes les fois où l'économie de consommation entrera en ligne de compte.

» Vous remarquerez que cet appareil est armé de différents accessoires qui ont pour but de localiser les effets provenant de la rupture et d'empêcher l'arc de détériorer les contacts principaux.

» *Interrupteur V.* — Si, au contraire, on a besoin d'un appareil d'un prix de revient plus bas, et dans lequel la question de consommation n'a pas d'importance, on se contentera de mettre en présence des lames de cuivre relativement fortes présentant une grande masse et une grande surface de refroidissement, de façon

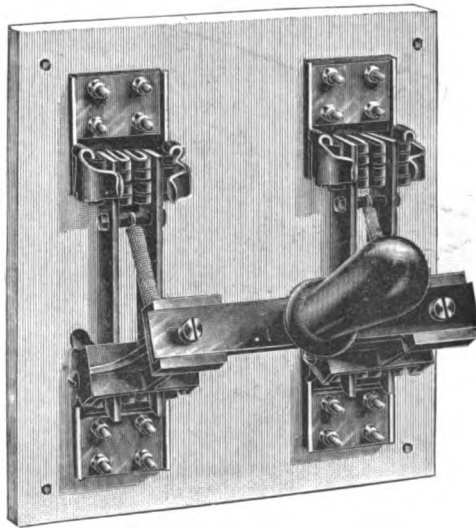


Fig. 3.

que les watts absorbés ne se traduisent pas par un échauffement exagéré de l'appareil (*fig. 3*). C'est dans cet ordre d'idées que cet autre appareil que je vous présente a été conçu.

» Des considérations analogues se présenteront dans les commu-

tateurs et coupleurs. C'est ainsi que, dans certains commutateurs, on aura avantage à employer des balais feuilletés présentant un bon contact, par exemple pour des appareils restant en circuit constamment et ne fonctionnant pas souvent. Dans d'autres appareils, au contraire, tels que coupleurs pour tramways, on aura intérêt à employer un gros doigt métallique unique présentant une grosse masse, de façon à absorber la chaleur produite par le contact.

» On voit l'importance que peut avoir pour un constructeur la définition de l'échauffement d'un interrupteur.

» On se préoccupe de cette question dans les dynamos. Pourquoi ne le fait-on pas généralement dans l'appareillage? Je tiens à profiter de l'occasion qui m'est offerte aujourd'hui pour insister sur cette question d'échauffement.

» Le même interrupteur peut servir pour 500 ampères ou 1000 ampères, suivant qu'il ne chauffe pas du tout ou qu'on voudra bien qu'il chauffe à 40 degrés au-dessus de la température ambiante.

» Je voudrais donc que les chefs d'industrie, dans leurs commandes ou leurs demandes de prix, les constructeurs dans leurs devis ou leurs catalogues, les ingénieurs dans les cahiers des charges qu'ils élaborent, n'oublient jamais d'indiquer, avec la désignation de l'intensité, l'échauffement permis à l'appareil.

» Je signale incidemment, pour guider ceux de nos collègues qui voudraient être renseignés, qu'un échauffement de 40 degrés au-dessus de la température ambiante est très normal et accepté généralement par différentes administrations, en particulier par la Marine française.

» Un bon interrupteur doit rompre facilement l'arc produit et je vais vous signaler quelques-uns des différents procédés qui ont été proposés pour faciliter cette rupture.

» L'arc est constitué par le transport des molécules d'un pôle à l'autre. Empêcher l'arc de se maintenir, c'est empêcher ce transport de molécules.

» Le procédé le plus connu et le premier employé a consisté simplement à écarter plus ou moins, suivant la nature du circuit, les pièces de rupture.

» Vous avez tous le souvenir des premiers interrupteurs à haute

tension qui ont été construits et dans lesquels les arcs atteignaient des longueurs considérables.

» L'un des premiers perfectionnements apportés fut le soufflage magnétique. Si l'on place un champ suffisamment puissant et convenablement dirigé dans le voisinage de l'arc, il agit sur celui-ci et le phénomène a tout à fait la même apparence que si l'on soufflait avec un jet d'air comprimé.

» Le soufflage magnétique est efficace, mais il n'est pas sans présenter quelques inconvénients. Tout d'abord on a cru, dans certains cas, pouvoir réduire assez sensiblement la distance de rupture et il est arrivé que, le soufflage n'ayant plus une action suffisante, l'arc ne se rompait pas naturellement et l'appareil était détérioré. Certains ingénieurs lui ont, de plus, reproché de produire une rupture trop soudaine du circuit et de provoquer des extra-courants suffisamment forts pour détériorer les isolants divers du circuit.

» Il faut remarquer, en effet, que, lorsqu'on produit une rupture dans l'air et que cette rupture n'est pas trop brusque, l'arc, s'allongeant, augmente de résistance et, dans une certaine mesure, le phénomène se passe comme si l'on intercalait progressivement dans le circuit une résistance; l'intensité ne passe donc pas brusquement d'un maximum à un minimum et les effets d'extra-courant sont faibles ou nuls. Avec le soufflage magnétique, tel qu'il a été souvent conçu, les deux parties de l'interrupteur, au contraire, sont peu écartées. L'arc, par conséquent, si l'intensité est suffisante, est très nourri et le soufflage, intervenant énergiquement à ce moment, réduit brusquement cette intensité à zéro; les effets d'extra-courant sont alors maximum.

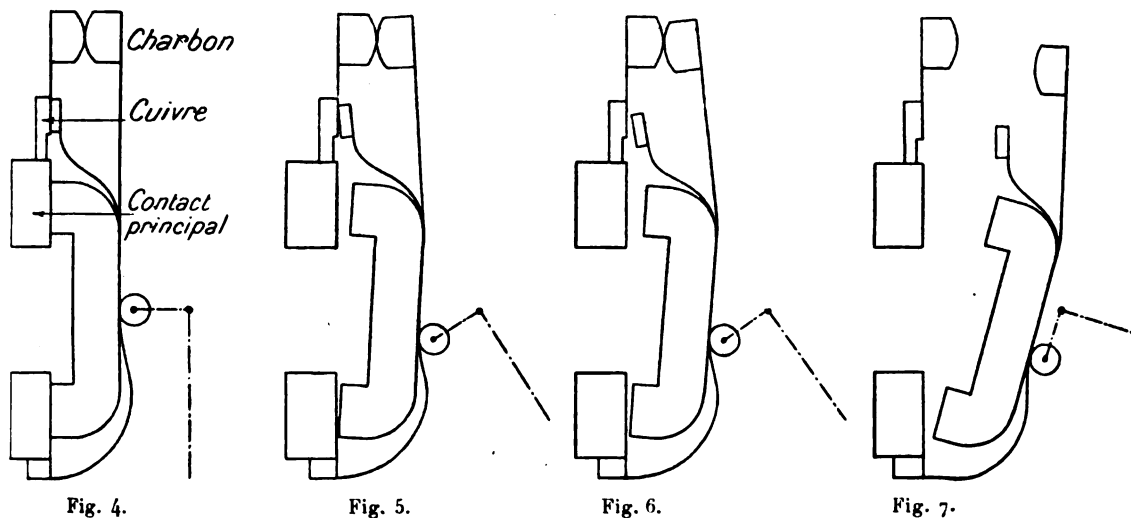
» La vérité, à notre avis, est dans un juste milieu, c'est-à-dire consiste à construire un interrupteur dans lequel les distances de rupture sont suffisamment grandes pour que la diminution d'intensité par l'allongement de l'arc soit sensible et employer un soufflage magnétique moins énergique, dont l'action ne peut alors intervenir qu'au moment où l'arc est relativement faible.

» Quoi qu'il en soit, dans de nombreux cas, c'est encore à la rupture de l'arc par allongement qu'on s'est le plus souvent arrêté et l'appareil que vous avez sous les yeux est basé sur ce principe.

» Vous serez peut-être étonnés d'apprendre qu'avec cet appareil même, on peut couper facilement 4000 à 5000 ampères sous 600 à 700 volts. Il ne nous a pas été permis d'essayer davantage, mais il est fort probable que l'on romprait beaucoup plus.

» Accessoirement, j'attire votre attention sur l'ensemble de l'appareil. Vous voyez, comme je vous le disais tout à l'heure, qu'il se compose du balai principal feuilleté, d'un balai accessoire formant premier pare-étincelles et dont la présence est justifiée par ce fait que, le contact en charbon ayant une certaine résistance ohmique, il y a, au moment où le balai principal quitte le contact, un petit arc qui est supporté par ce pare-étincelles accessoire et, enfin, le pare-étincelles en charbon qui reçoit tous les effets de la rupture.

» Les figures 4, 5, 6, 7 représentent les quatre phases d'une



rupture ou, en sens inverse, c'est-à-dire 4, 3, 2, 1, les phases de la fermeture.

» Les quelques considérations que je viens de développer relativement aux interrupteurs nous serviront tout à l'heure pour les disjoncteurs. D'autre part, nous aurons l'occasion de revenir sur la question des interrupteurs en général, en parlant de la haute tension.

» *Coupe-circuits.* — Le coupe-circuit est un appareil de protection dont le rôle consiste à provoquer dans le circuit un

point faible dont la mission est de s'échauffer, de fondre en cas d'excès de courant et de rompre ainsi le circuit. C'est un appareil barbare et dont l'emploi tend de plus en plus à disparaître dans les installations sérieuses. Je ne veux donc pas m'étendre longtemps sur ces appareils qui sont toujours d'une construction délicate, d'un fonctionnement défectueux et que l'on doit, toutes les fois que l'on peut, éviter d'employer.

» Cependant, je tiens à vous présenter une observation sur l'intensité de fusion d'un coupe-circuit. J'ai constaté que, dans de nombreux cas, les ingénieurs ne s'entendent pas sur ce qu'on entend par un coupe-circuit de *tant d'ampères*.

» Si l'on prend un conducteur quelconque d'une longueur déter-

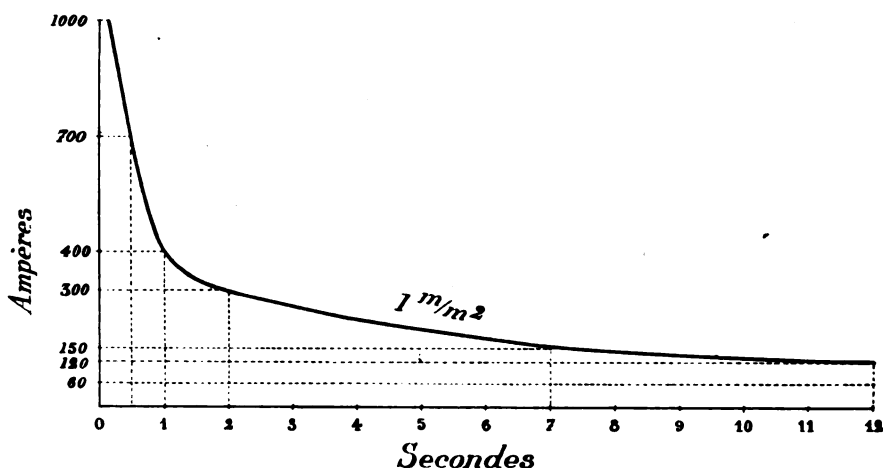


Fig. 8.

minée et fixé entre des masses métalliques déterminées et que l'on fasse passer successivement différentes intensités, on remarque que pour une certaine intensité on a une certaine température, l'équilibre a lieu quand la chaleur dissipée par rayonnement est égale à celle produite par effet Joule. Mais, si l'on fait passer une intensité plus grande que celle que le fil peut supporter d'une façon constante, il fond au bout d'un temps plus ou moins long (*fig. 8*).

» Je mets sous vos yeux une courbe établie d'après un fil de cuivre de 1 mm^2 de section et de 10 cm de longueur placé entre deux masses métalliques pesant environ 2 kg et protégé par deux cloisons d'amiante suffisamment rapprochées, de façon qu'il soit

à l'abri des courants d'air extérieurs. Nous avons porté en abscisses les temps et en ordonnées les points de fusion. Vous voyez, d'après l'examen de la courbe, que ce fil peut supporter indéfiniment 60 ampères environ, 120 ampères pendant 12 secondes, 150 ampères pendant 7 secondes, 300 ampères pendant près de 2 secondes, 400 ampères pendant 1 seconde, 700 ampères pendant une demi-seconde et 1000 ampères pendant une fraction de seconde, et que, vraisemblablement, ce fil de cuivre laisse passer au court-circuit franc, étant donné sa résistance, 1500 ampères environ. Il faut donc, pour un fil de cuivre de 1 mm², 1500 ampères environ pour obtenir la fusion instantanée.

» Entre l'intensité limite de fusion qui est de 60 ampères et celle de 10 ampères qui est celle où l'échauffement est pratiquement nul, il y a toute une marge pour le choix et l'on voit quelle peut être l'incertitude d'un tel appareil, surtout si l'on songe qu'il est capable de résister pendant un temps plus ou moins grand à des intensités qui peuvent atteindre 1200 à 1500 ampères.

» Je veux, avant de quitter les coupe-circuits, signaler la tendance qu'ont les électriciens, pour remédier dans une certaine mesure aux inconvénients des fusibles, à remplacer le plomb autrefois employé par des métaux à grande conductibilité comme le cuivre et l'argent et la raison de ce choix vient du fait qu'au moment de la déflagration, ces métaux, pour une intensité déterminée, ayant une moins grande masse, produisent moins de vapeur et donnent un meilleur fonctionnement.

» *Disjoncteurs à basse tension.* — Les disjoncteurs sont des interrupteurs destinés à fonctionner automatiquement. C'est pourquoi certains ingénieurs remplacent le mot *disjoncteur* simplement par le vocable *automatique*.

» Ces appareils peuvent fonctionner quand le courant dépasse une certaine intensité : ce sont les disjoncteurs à maxima, et aussi lorsqu'il descend au-dessous d'une certaine valeur qui peut quelquefois être négative : ce sont les disjoncteurs à minima.

» *Disjoncteurs à minima.* — Pour les disjoncteurs à minima, je vous signalerai seulement la tendance de plus en plus grande de n'employer que des appareils dits à *renversement*, c'est-à-dire dé-

clenchant seulement si l'intensité descend non seulement à zéro, mais encore prend une valeur négative assez importante.

» Différents systèmes sont employés et les deux principaux sont les suivants :

» 1^o Un électro-aimant (*fig. 9*) polarisé d'une façon constante par une dérivation de courant, est muni d'un enroulement supplémen-

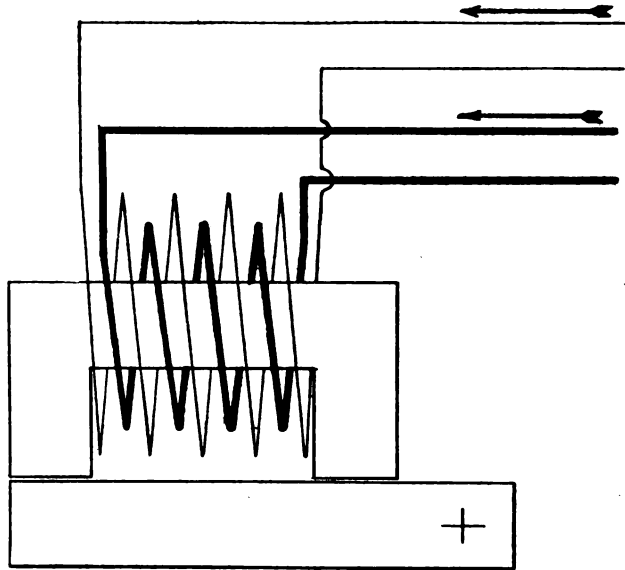


Fig. 9.

taire traversé par le courant principal. Dans le bon sens, c'est-à-dire celui pendant lequel le circuit doit rester fermé, les deux enroulements s'ajoutent, si bien que la masse reste attirée.

» Si, au contraire, l'intensité baisse, et que le courant change de sens dans le gros fil, il arrive un moment où le nombre d'ampères-tours du gros fil est à peu près égal au nombre d'ampères-tours du fil fin; les deux actions des enroulements se retranchent et, à un moment donné, la masse tombe et provoque le déclenchement. On conçoit facilement qu'en réglant l'un et l'autre enroulement, on puisse obtenir le déclenchement pour telle intensité négative que l'on veut.

» L'inconvénient de ce système est de ne pas se prêter à un réglage rigoureux. En effet, un électro a besoin d'une magnétisation très faible pour être maintenu au collage et, comme on opère avec un

nombre d'ampères-tours très faible, le réglage précis au renversement est difficile. De plus, on est généralement obligé, au moment de la fermeture du circuit, de venir remettre en place la masse de fer doux.

» 2° L'autre système (*fig. 10*) est le suivant : c'est celui que nous

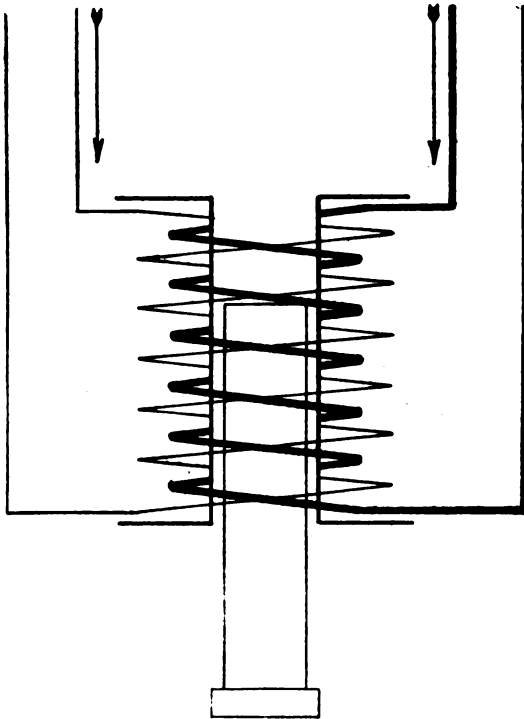


Fig. 10.

employons de préférence. Il consiste à opérer en sens inverse. Un solénoïde est susceptible d'attirer un noyau ; ce noyau, par son attraction, produira le déclenchement. Le solénoïde est constitué par un enroulement principal en fil fin et tel que le nombre d'ampères-tours qui le traverse soit constant et presque suffisant pour attirer le noyau ; un enroulement en gros fil est adjoint à celui en fil fin. Cet enroulement gros fil est tel que, dans le sens normal, les actions des deux enroulements se retranchent, si bien que, plus l'intensité est forte dans le sens normal, moins l'action sur le noyau du solénoïde est forte. Mais, si l'intensité baisse jusqu'à prendre une valeur opposée à celle qu'elle avait précédemment, les deux

enroulements s'ajoutent et il y a immédiatement attraction du noyau, lequel fait fonctionner le disjoncteur d'une manière quelconque.

» L'avantage de ce dispositif est que l'action qui produit le déclenchement, au lieu d'être passive comme dans le premier cas, est active et que c'est le jeu normal des organes qui produit le déclenchement.

» Signalons, au sujet des disjoncteurs à renversement, une considération qui échappe généralement aux ingénieurs dans la conception des tableaux de distribution.

» Quand on emploie des disjoncteurs à renversement, de l'un ou l'autre des systèmes ci-dessus, on se sert, comme on vient de le voir, d'un courant dérivé. Or, dans les installations, il arrive rarement que la tension soit fixe. Le nombre d'ampères-tours des bobines à fil fin est directement proportionnel à la différence de potentiel de l'installation; il y a donc intérêt, lorsqu'on veut un réglage précis des disjoncteurs, à prendre pour les bobinages fil fin une tension absolument fixe. Une petite batterie d'accumulateurs, qui servira au besoin pour l'éclairage, mais surtout pour l'alimentation de tous les appareils à minimum, relais, etc., est tout indiquée. Ce qui veut dire qu'en général, il ne faudra pas se mettre en dérivation sur les barres du tableau si elles sont susceptibles de variations de tension.

» L'inconvénient qui résulte d'une tension variable n'est pas le même dans l'un ou l'autre des systèmes à minima décrits plus haut. Dans le premier cas, c'est-à-dire si l'on a un électro-aimant lâchant son armature, une augmentation de tension a pour effet de retarder le point du déclenchement, puisque, le nombre d'ampères-tours dans le fil fin étant plus grand, il faudra plus d'intensité dans le gros fil pour neutraliser l'action du fil fin.

» Dans le deuxième cas, au contraire, c'est-à-dire quand on a un solénoïde puissant agissant sur le déclenchement, une augmentation de tension a pour but d'avancer le point de déclenchement puisque le nombre d'ampères-tours est plus grand; le solénoïde est donc plus actif et, dans ce cas, il faudra avoir soin de faire que jamais la tension ne soit suffisamment élevée pour que le déclenchement se produise pour une valeur positive de l'intensité.

» *Disjoncteurs à maxima.* — Le disjoncteur à maximum est celui qui fonctionne dans le cas où l'intensité dépasse la valeur normale. A l'origine, les constructeurs ont employé (et certains emploient encore), pour produire le déclenchement, l'attraction d'une masse de fer doux par un électro-aimant, mais ce dispositif se prête peu à un réglage précis et la majeure partie des constructeurs adopte, pour

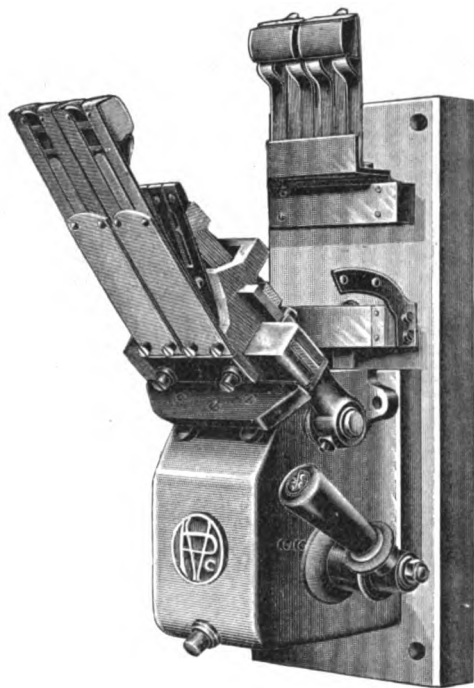


Fig. 11.

avoir un fonctionnement convenable, un noyau de fer doux placé dans le champ d'un solénoïde.

» Les observations présentées tout à l'heure, relativement à la rupture dans les interrupteurs, s'appliquent également aux disjoncteurs. Nous n'en parlerons pas davantage.

» Je vous présente ici un modèle de disjoncteur (*fig. 11*) qui a été créé, en ce qui concerne la rupture, sur le même principe que l'interrupteur à pare-étincelles de tout à l'heure. Cet appareil est, en somme, un interrupteur enclenché au moyen d'un cliquet sur lequel vient agir, au moment voulu, le noyau de déclenchement.

» Je vous signale seulement deux particularités : la première

consiste à avoir dans tous les appareils de notre fabrication une bobine d'un type unique, d'une façon analogue à ce qu'on fait pour les appareils de mesure à shunt; la seconde particularité, la plus intéressante, est ce que nous avons baptisé *le renclenchement empêché*.

» En quoi consiste le renclenchement empêché?

» Deux définitions peuvent en être données : l'une, qui serait la plus vraie et correspondrait au terme le plus propre, consiste à dire

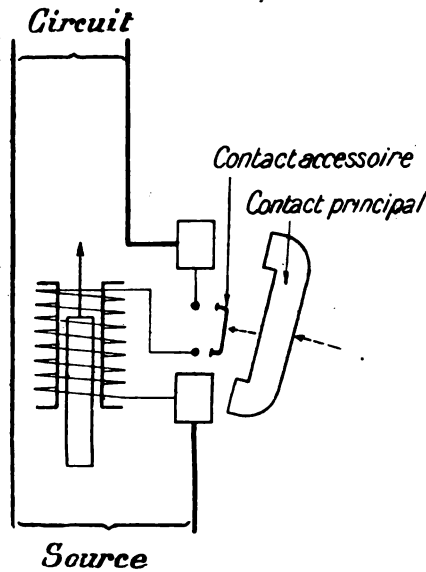


Fig. 12.

que, le disjoncteur étant ouvert, si le circuit est d'une nature telle que, au moment de la fermeture, l'intensité dépasse la normale, un organe intervient qui empêche mécaniquement que l'on puisse fermer le disjoncteur.

» Cette disposition a été réalisée par nous dans un certain nombre d'appareils de la façon suivante (*fig. 12*).

» Prenons un exemple.

» Supposons le disjoncteur réglé pour déclencher à 1000 ampères sur une installation à 500 volts. Cela signifie que la résistance du circuit extérieur est de $\frac{500}{1000} = \frac{1}{2}$ ohm.

» Donc, le disjoncteur étant ouvert, la résistance du circuit ne doit pas être normalement inférieure à $\frac{1}{2}$ ohm. En effet, si elle est

plus faible, $\frac{1}{4}$ d'ohm par exemple, il passerait 2000 ampères. Cette considération permet immédiatement d'imaginer le système.

» La manette qui commande cet appareil, avant d'agir sur le balai principal, vient mettre à sa place les deux extrémités d'une **petite** bobine qui se trouve ainsi en tension avec le circuit principal. Cette bobine est réglée de telle façon que, mise en série avec une **résistance** de $\frac{1}{2}$ ohm au plus, elle n'attire pas son armature et, pour une **résistance** inférieure, à $\frac{1}{4}$ d'ohm par exemple, elle attire son armature. Cette attraction aura pour effet d'agir sur un enclenchement mécanique quelconque, lequel empêchera la fermeture de l'appareil.

» Le dispositif que nous venons de décrire et qui mériterait le vrai nom d'*enclenchement empêché*, sans être très compliqué, nécessite cependant la présence d'organes particuliers. Aussi avons-nous donné, en pratique, le nom d'*enclenchement empêché* à un dispositif plus simple et tel que, en réalité, lorsqu'on ferme le disjoncteur et une fois celui-ci fermé, on ne puisse l'empêcher de déclencher, même si l'on tient la manette à la main.

» L'appareil que vous avez sous les yeux possède ce dispositif et je vais le faire fonctionner comme démonstration au moyen d'un certain nombre de lampes à incandescence.

» Je ne m'étendrai pas longtemps sur les particularités de cet appareil dont la réalisation pourrait être différente. Je vous signale seulement que celui-ci a été construit de façon à être précis. En effet, vous pouvez vous rendre compte qu'une lampe à incandescence en plus le fait fonctionner. Bien entendu, pour présenter l'expérience devant vos yeux, nous avons fait faire un bobinage spécial en rapport avec le nombre de lampes dont nous pouvions disposer.

» L'appareil même que vous voyez est d'une intensité normale de 800 ampères, et nous avons rompu avec lui des intensités qui atteignaient 4000 ampères à 600 volts. Nous construisons des appareils beaucoup plus puissants dont le régime normal est de 3000 à 4000 ampères et dont la puissance de rupture doit être considérable.

» Vous signalerais-je, accessoirement, que la Marine française, désireuse d'uniformiser les types de disjoncteurs en usage à bord

des bateaux, a ouvert, il y a deux ans, un concours entre tous les constructeurs à l'effet d'arrêter un type définitif? C'est l'appareil que vous voyez qui, après examen, a été adopté et rendu réglementaire.

» Je m'arrêterai là, en ce qui concerne les disjoncteurs à basse tension, mais je tiens à dire aux industriels que, si nous sommes personnellement en droit de revendiquer, pour nos appareils, certaines particularités et certains avantages, nous ne sommes pas les seuls à faire des disjoncteurs qui fonctionnent bien et à un prix économique, prix qui est souvent inférieur à celui de l'ensemble formé par un interrupteur et un coupe-circuit, et que, en conséquence, ils ne doivent jamais hésiter, même si la dépense est légèrement plus forte, à employer un disjoncteur.

» Le cadre de cette conférence m'oblige à laisser en dehors différentes catégories d'appareils, tels que réducteurs d'accumulateurs et commutateurs. Je vous dirai seulement, en passant, la tendance de plus en plus marquée qu'ont les ingénieurs de manœuvrer ces appareils électriquement à distance, au moyen de dispositifs dans le détail desquels il ne m'est pas possible d'entrer.

» *Appareils pour la manœuvre des moteurs.* — Cette question de la manœuvre des moteurs électriques est extrêmement importante et justifierait à elle seule une conférence. Ne voulant pas abuser de vos instants et surtout désireux de ne vous parler, ce soir, que des appareils d'ordre général, je vous dirai seulement quelques mots sur ce chapitre.

» En général, pour mettre un moteur en marche, sitôt qu'il est d'une certaine puissance, on intercale une résistance dans le circuit; on diminue cette résistance progressivement jusqu'à ce que le moteur démarre. Par suite de ce démarrage, l'intensité baissant, on diminue encore la résistance jusqu'à ce que le régime soit établi.

» A l'origine, l'appareil de démarrage était un commutateur plus ou moins simple, plus ou moins bien armé pour résister aux effets des étincelles. Depuis quelque temps, on semble désireux d'avoir des appareils d'apparence peut-être plus compliquée, mais de fonctionnement, en réalité, plus simple et qui sont commandés plus ou moins automatiquement (*fig. 13*).

» Dans les appareils de forte puissance surtout, on commence à trouver qu'il y a intérêt à employer, non pas un commutateur sur lequel on agit directement à la main, mais une succession d'inter-rup-teurs fonctionnant par solénoïdes et qui viennent, aux moments

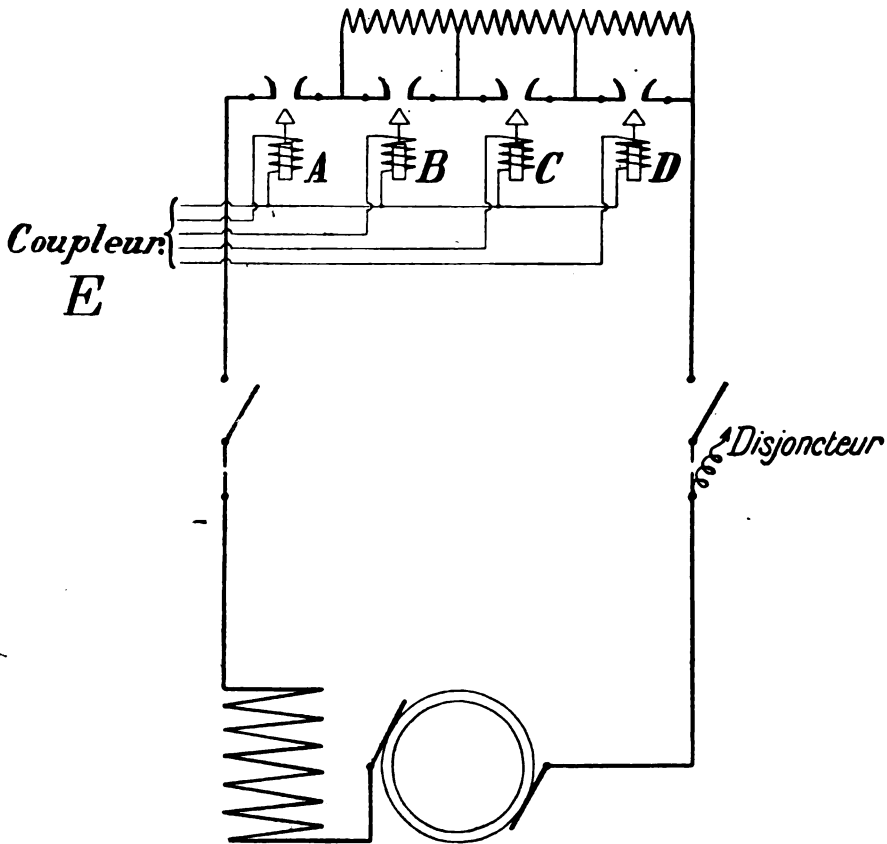


Fig. 13.

voulus, mettre en circuit ou hors circuit les résistances. Ce sont les solutions par connecteurs qui sont destinées de plus en plus à être employées. C'est, d'ailleurs, sur ce principe que nous venons de réaliser l'appareillage d'un certain nombre de sous-marins français et je mets sous vos yeux, sans vous en donner l'explication complète, car ce serait trop long, le schéma du principe d'une installation de ce genre.

» J'ai fait faire un schéma qui, bien entendu, n'est pas celui employé à bord, mais qui peut servir de prototype à une installation de ce genre.

» Vous voyez quatre connecteurs A, B, C, D qui servent à déterminer la marche et qui sont susceptibles de retirer ou de mettre les intervalles de résistances; accessoirement, vous voyez le disjoncteur qui protège l'installation.

» Ces connecteurs sont commandés à distance par un petit coupleur E.

» Cette disposition qui n'est pas nouvelle, quant à son principe, a été jusqu'ici employée seulement pour des cas spéciaux, mais elle tend à se généraliser. Elle est la meilleure à employer toutes les fois qu'on a à commander des organismes puissants et qui doivent fonctionner souvent.

» Je signalerai, pour terminer ce que je veux dire des rhéostats de démarrage, l'application à ces appareils du principe de renclenchement empêché décrit pour les disjoncteurs. Dans l'appareil que je vous présente, si l'intensité devient trop forte, le retour de la manette se fait automatiquement et il faut recommencer en partant de la position initiale. Donc, on ne peut démarrer trop vite. Accessoirement, dans cet appareil, le retour à zéro se fait également en cas de manque de courant.

» *Tableaux de distribution.* — Je ne veux pas quitter la basse tension sans vous dire quelques mots de la constitution des tableaux de distribution.

» Pour faire un tableau de distribution, on prend une grande plaque de marbre bien polie; on met par devant des appareils et par derrière quelques barres de cuivre; on tient le tout par deux montants en fer. Un fronton pour le nom du client, une plaque au milieu pour celui du constructeur et c'est terminé.

» Ce n'est pas ce qu'il faut faire. Le marbre, d'abord, est défectueux. On l'a choisi parce qu'on en trouve partout et parce que la constitution d'un tableau dans ces conditions ne présente pas de grandes difficultés et ne nécessite pas beaucoup d'étude préalable. L'expérience montre que les panneaux en marbre ont des inconvénients graves.

» La rupture en est très fréquente dans les transports; de plus, il jaunit et se salit rapidement.

» Le verre, qui est quelquefois employé et que nous avons même

préconisé il y a quelques années, a l'avantage de ne pas se salir, mais, sous l'influence des écarts de température, il se casse.

» Nous avons cherché à faire autre chose, car nous avons pensé qu'un tableau de distribution devait être par lui-même un appareil complet et traité comme tel. D'ailleurs, certaines installations n'ont pas de tableau ; autrement dit, les appareils sont placés là où ils doivent être près des organes qu'ils contrôlent, ils sont commandés à distance, et la manœuvre est centralisée sur des pupitres spéciaux.

» Cependant, il est certains cas où l'on est obligé de condenser des appareils en un même point et alors, force est bien de créer ce qu'on appelle un *tableau de distribution*.

» Nous avons voulu, dans plusieurs cas analogues, éloigner systématiquement le marbre à cause des inconvénients qu'il présente et nous avons créé des tableaux de distribution absolument métalliques. Je vous en présente deux exemples de petites dimensions.

» Vous voyez qu'on peut parfaitement réaliser un tableau présentant les qualités voulues comme isolement et comme esthétique.

» D'ailleurs, nous avons en construction en ce moment, dans nos ateliers, des tableaux ayant jusqu'à 4 m de longueur sur 3 m de haut, construits sur ce principe et qui auront, nous l'espérons, tous les avantages des anciens sans en avoir les inconvénients. Toutefois, je dois faire remarquer que cette conception d'un tableau sans marbre entraîne une étude préalable beaucoup plus complète ; on est obligé de réaliser les connexions derrière le tableau d'une façon aussi soignée que si elles étaient devant, et c'est probablement cette obligation de soigner tous les détails qui fera préférer les tableaux de marbre. Nous sommes cependant convaincus que les ingénieurs, désireux d'avoir un tableau tout à fait mécanique et présentant toute sécurité, devront s'arrêter à des solutions de ce genre. Je signale que toutes les critiques qui peuvent être faites relativement aux questions d'isolement tombent, si l'on a soin d'isoler les barres constitutives l'une de l'autre ainsi que les appareils. Tout à l'heure, quand j'aborderai la question des tableaux de haute tension, j'aurai occasion de vous dire quelques mots des dispositions générales d'emplacement employées dans les tableaux de distribution.

HAUTE TENSION.

» *Interrupteurs.* — Le problème, à certains points de vue, est analogue à celui qui s'est présenté pour la basse tension, mais la question ici se complique de ce fait qu'on a généralement affaire à une énergie beaucoup plus grande et que, la tension étant élevée, il

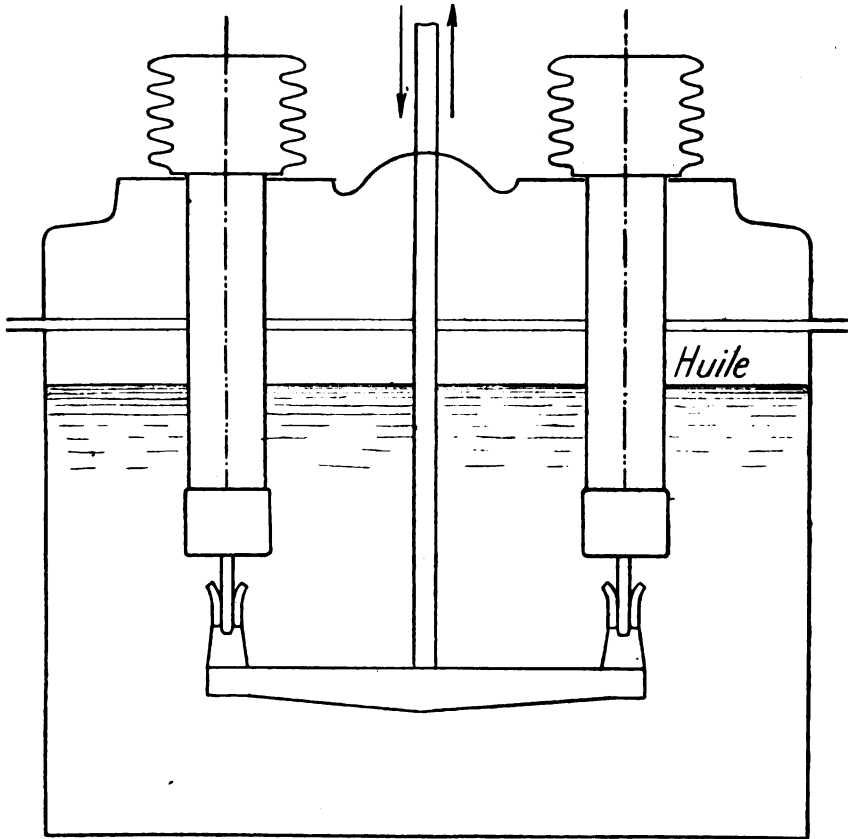


Fig. 14.

faut se préoccuper d'écarter les dangers que pourraient courir les opérateurs.

» Je ne vous décrirai pas tous les systèmes d'interrupteurs proposés jusqu'à présent, d'autant plus que tous les types semblent tendre maintenant vers un dispositif d'ensemble commun, variant peu d'un constructeur à l'autre (*fig. 14*).

» Ce dispositif se compose essentiellement d'un bâti en fonte

dans lequel pénètrent des isolants supportant les pièces métalliques. Sous ce bâti est une cuve remplie d'huile et dans laquelle se produit la rupture. C'est le type d'interrupteur à huile qui devient de plus en plus classique et qui donne les meilleurs résultats.

» Le croquis que je vous donne représente, schématiquement, l'un de ces appareils.

» On a beaucoup parlé, dans ces derniers temps, du phénomène qui se produit à la rupture dans les interrupteurs à huile et l'on est à peu près généralement convaincu maintenant que ce genre d'interrupteur est celui qui convient le mieux. Des études ont été faites, qui ont été présentées ici même, pour étudier les surtensions produites dans les réseaux par les différents types d'interrupteurs. Mais ce n'est pas sur ce point que nous dirigerons aujourd'hui notre attention.

» Je veux m'arrêter à l'examen du *dimensionnement des appareils à haute tension*.

» En ce qui concerne les nécessités d'isolement, il est facile, par des essais préalables, de connaître les distances suffisantes pour que l'isolement soit bon et que des arcs ne s'amorcent pas à la masse.

» Il est toutefois une cause de malentendu assez fréquente et que je voudrais voir disparaître, afin que les constructeurs soient bien d'accord avec leurs clients.

» On dira, par exemple, qu'un interrupteur de 10000 volts doit, au point de vue de l'isolation, être essayé à 20000 et qu'à cette tension il ne devra pas y avoir d'effluves entre la partie en charge et la masse.

» Mais un point auquel on ne fait généralement pas attention est de savoir si ces essais seront faits *avec* ou *sans* huile. En effet, le fait d'avoir une cuve remplie d'huile implique la possibilité pour cette huile, par suite d'une fuite, de partir. On comprend facilement, dans ces conditions, que l'appareil ne puisse servir à rompre en charge la même intensité; mais ce qu'il ne faut pas admettre, c'est qu'en cas de fuite de l'huile, un arc puisse s'amorcer à la masse.

» On devra donc dire, à mon avis, que les interrupteurs à huile

seront essayés à l'isolement et à la tension avec et sans huile ; et, en charge, sous tension et intensité avec l'huile.

» Les considérations d'isolation sont donc les premières à intervenir pour fixer la dimension des appareils à haute tension.

» Le dimensionnement d'un appareil haute tension doit également être basé sur la puissance normale de l'appareil. Par exemple, dans un appareil de 500 ampères à 5000 volts, les contacts devront être tels qu'ils ne chauffent pas pour cette intensité.

» Enfin, la considération la plus importante de toutes est la *capacité de rupture*. En effet, à la rupture, il se produit, entre les pièces métalliques qui s'écartent, un arc qui dépend de la puissance à rompre, lequel détermine la création d'une poche gazeuse qui provient, non seulement de la volatilisation du métal, mais aussi et surtout de la décomposition de l'huile entourant les pièces.

» Cette poche a d'autant plus de volume que l'énergie du courant rompu est plus grande, et il faut alors donner à l'appareil un dimensionnement suffisant pour que cette poche gazeuse soit toujours entourée d'huile, sans quoi l'arc s'amorcerait entre les pièces et la masse.

» J'ai proposé, il y a 7 ou 8 ans, de faire la rupture dans un milieu rigoureusement fermé de façon à empêcher mécaniquement la formation de la poche gazeuse ; j'aurai occasion plus tard de vous parler en détail de cette question de la rupture des arcs dans l'huile sous pression, car ce procédé est, je crois, le seul qui permette, d'une façon certaine, la rupture pour des puissances de 20 000 à 100 000 kilowatts qui sont maintenant du domaine de la réalité.

» Il faut remarquer, ce que l'on fait d'ailleurs assez rarement, que la puissance de rupture d'un appareil est proportionnelle à peu près au nombre de pôles de l'appareil. C'est ainsi qu'à tort, à mon avis, des constructeurs donnent à des appareils le même dimensionnement, pour une même puissance de rupture, qu'ils soient uni-, bi- ou tripolaires.

» Mais, de plus, et ce que je vais dire est important, il faut non seulement, pour les dimensions à donner, considérer l'intensité normale qui doit passer dans l'appareil, mais surtout l'intensité maxima de rupture, c'est-à-dire l'intensité qu'il est susceptible de rompre même exceptionnellement.

» Supposons en effet une usine capable de donner 5 000 kilowatts. Dans un coin de cette usine, on installe un moteur de quelques chevaux avec un interrupteur capable de rompre 100 ou 200 kilowatts et que l'on considère comme déjà très fort; en service normal cet appareil donne d'excellents résultats, mais un court-circuit se présente-t-il dans le moteur, court-circuit non suffisamment violent par exemple pour provoquer l'arrêt de l'usine? On se précipite sur l'interrupteur du moteur et, à ce moment, on coupe. Or, que coupe-t-on? Non pas les 100 ou 200 kilowatts qui ont servi de baptême à l'appareil, mais la presque totalité de ce que peut fournir toute l'installation, et l'on est tout étonné de voir l'appareil voler en éclats. C'est, la plupart du temps, le pauvre constructeur qui est rendu responsable. C'est un fait.

» Il faut toujours, dans les centrales, des interrupteurs capables de rompre une puissance beaucoup plus considérable que celle des circuits qu'ils commandent. D'ailleurs, cette considération n'est pas spéciale à la haute tension, mais aussi à la basse tension. On n'y a pas, jusqu'ici, attaché une grande importance parce que les installations très puissantes n'ont pas été nombreuses, mais je pourrais citer, à titre d'exemple, une usine de 10 000 kilowatts dans laquelle tous les interrupteurs ont été faits pour 10 000 kilowatts. C'était déjà un progrès; mais, cette usine ayant eu besoin de doubler sa puissance, les ingénieurs ont été tout surpris de ne pouvoir mettre la nouvelle installation en parallèle avec l'ancienne parce que les interrupteurs n'étaient pas capables de couper les 20 000 kilowatts. Voilà donc une usine gênée parce que quelques appareils, considérés comme secondaires, n'ont pas été prévus assez largement.

» Ce que nous disons là du dimensionnement des interrupteurs haute tension s'appliquera tout à l'heure, et bien mieux encore, aux disjoncteurs; car, si, pour des interrupteurs qui doivent fonctionner à la main, on est encore maître de ne pas s'en servir, il n'en est pas de même pour les disjoncteurs qui fonctionnent seuls, à un moment où l'on s'y attend généralement le moins.

» Je ne veux pas quitter cette question des interrupteurs haute tension sans vous signaler un dispositif que nous avons imaginé il y a quelque temps déjà et destiné, dans notre esprit, à éviter les effets d'extra-courant qui peuvent être produits par une fermeture

ou une rupture brusque. En effet, l'interrupteur haute tension, quoi qu'on en dise, coupant ou fermant le circuit avec une certaine rapidité, des surtensions se produisent et des arcs s'amorcent. Pour éviter ces inconvénients il fallait créer un appareil qui coupe d'une manière plus lente, et nous avons alors construit l'appareil représenté schématiquement sur le croquis ci-contre et dont je vais, en deux mots, vous expliquer le principe (*fig. 15*).

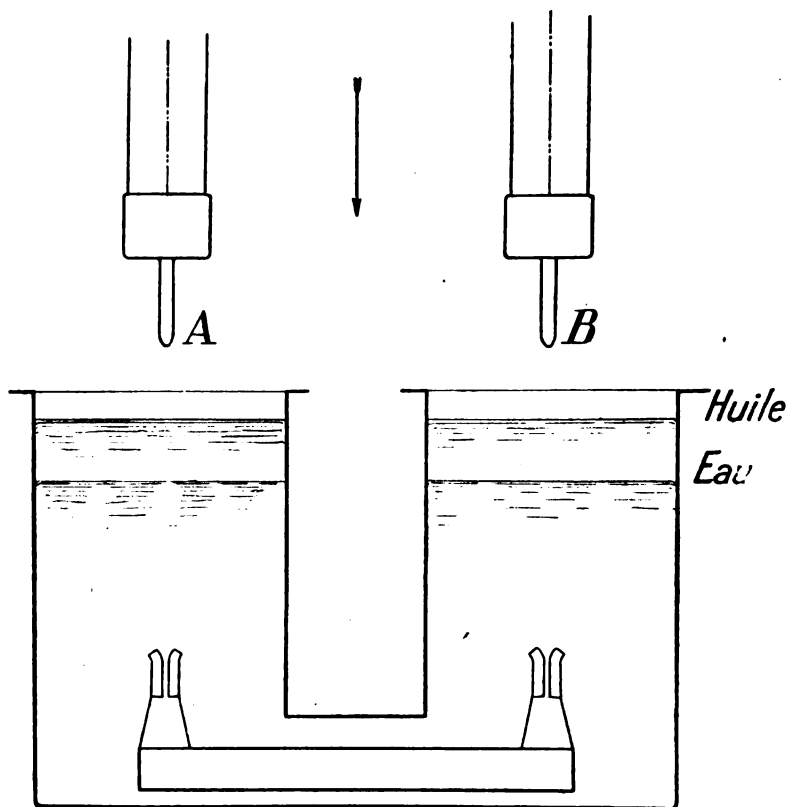


Fig. 15.

» Deux cuves en porcelaine portent à leur partie inférieure des contacts qui communiquent. Deux broches sont susceptibles d'être réunies par ces contacts ; les cuves sont remplies d'eau d'abord, d'huile par-dessus.

» Prenons l'appareil pour un seul pôle ; il serait aussi bien bipolaire ou tripolaire.

» Le courant arrive par la borne A et s'en va par B. La cuve est

susceptible d'un mouvement de haut en bas que l'on fait d'une façon relativement lente. Le courant passe, ayant d'abord l'eau comme conducteur, et comme, au début, la distance est grande, la résistance l'est aussi. En levant davantage la cuve, la colonne d'eau diminue, la résistance diminue, l'intensité augmente et, à un moment donné, les pièces métalliques étant proches, la résistance est très faible. A ce moment, le contact se produit. A la rupture, le phénomène se passe en sens inverse et la rupture est achevée par l'huile.

» L'expérience a montré que cette disposition donnait de bons résultats.

» *Coupe-circuits haute tension.* — Tout le mal que nous avons dit des coupe-circuits à basse tension s'applique encore et bien mieux aux coupe-circuits haute tension. Malheureusement, le prix relativement élevé des disjoncteurs haute tension conduit encore les ingénieurs à se servir de coupe-circuits.

» Quoi qu'il en soit, nous ne désespérons pas (et sommes même certains d'y arriver) de créer des disjoncteurs assez économiques pour qu'on supprime ces appareils défectueux qu'on nomme des coupe-circuits.

» Pourtant, comme il faut quelquefois vivre avec un mal, on a cherché à réaliser des coupe-circuits haute tension répondant le mieux possible au problème posé. Je veux parler d'un coupe-circuit très employé, toujours construit à peu près sur les mêmes données par différents constructeurs.

» Il se compose essentiellement d'un tube de porcelaine à l'intérieur duquel se trouve un fusible que l'on réalise d'une façon spéciale pour qu'à la déflagration, il n'y ait pas d'amorçage d'arc (*fig. 16*).

» Je vous signalerai à ce sujet que nous employons depuis quelques années un fusible composé d'un fil d'argent guipé de fils d'amiante grâce auxquels, à la déflagration, la porcelaine résiste presque toujours. Quoique cet appareil ne soit pas d'un fonctionnement aussi certain qu'un disjoncteur, il donne d'assez bons résultats, mais il arrive qu'il donne lieu à des ennuis surtout dans les installations puissantes qui ont de grandes réserves d'énergie derrière elles, et surtout si les fusibles ont une section dépassant

1 ou 2 mm². Pour s'en rendre compte, il suffit d'examiner la courbe de fusion du cuivre que nous ayons donnée au début.

» Dans les installations relativement puissantes, il est bon à notre avis d'employer, si l'on écarte les disjoncteurs qui sont toujours préférables, des coupe-circuits plus perfectionnés avec lesquels la rupture se fait dans l'huile. Ces derniers, tout en conser-

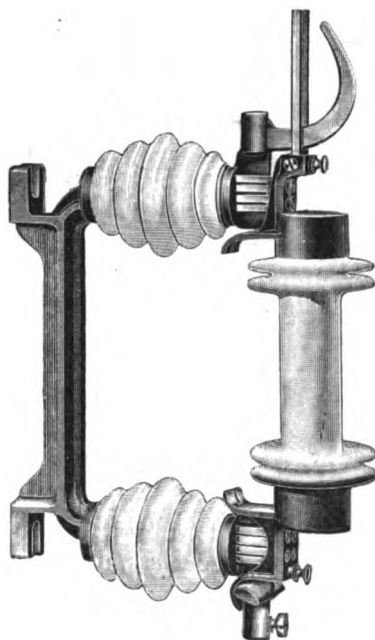


Fig. 16.

vant les inconvénients des autres coupe-circuits en ce qui concerne la précision de fonctionnement et de leur étalonnement, rompent facilement de grandes puissances. Ils se composent essentiellement d'une cuve dans laquelle on met de l'huile. Dans le modèle que je vous présente, vous remarquerez que le fusible, qui est en argent, est très court, pour qu'au moment de la déflagration, il y ait peu de gaz produits. Une olive métallique, relativement lourde, est soutenue par le fil et, au moment où celui-ci fond, l'olive tombe au fond du vase; l'huile intervient alors comme écran pour empêcher l'arc de se prolonger.

» A titre d'indication, le modèle que vous voyez a été mis en court-circuit aux bornes d'un alternateur de 700 kilowatts

10 000 volts, commandé par turbine, ce qui représente déjà, au moment de la rupture, une puissance considérable et l'arc s'est coupé parfaitement sans amorçage extérieur (*fig. 17*).

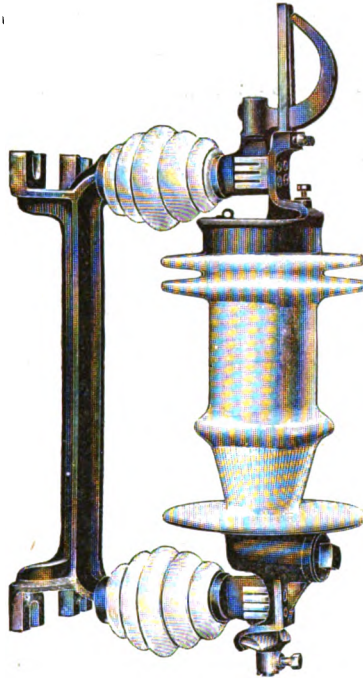


Fig. 17.

» Nous avons réalisé des appareils de ce genre pour des intensités assez élevées, jusqu'à 500 ampères, et des tensions jusqu'à 30 000 volts.

» *Disjoncteurs haute tension.* — Les règles qui président à la construction des disjoncteurs haute tension sont les mêmes dans une certaine mesure que celles des disjoncteurs basse tension et aussi les mêmes que celles qui président à l'établissement des interrupteurs haute tension dont nous avons parlé tout à l'heure.

» En général, d'après ce qui s'est fait jusqu'à présent, le disjoncteur haute tension n'a pas été autre chose qu'un interrupteur haute tension, lequel a été armé au moyen d'un ressort ou d'un poids quelconque, de façon à être sollicité à rompre; un cliquet empêche cette rupture; ce cliquet est susceptible d'être dégagé par un électro ou un solénoïde. Beaucoup de constructeurs commandent ce cliquet

par un circuit basse tension, alimenté par un transformateur d'intensité placé dans la haute tension. On conçoit alors le fonctionnement.

» Un disjoncteur établi dans ces conditions nécessite l'emploi d'un transformateur et nous avons pensé que, dans certains cas, il y avait intérêt à supprimer cet accessoire non seulement coûteux, mais embarrassant et difficile à monter à cause de l'isolation. C'est alors que nous avons créé un type d'appareil qui condense en

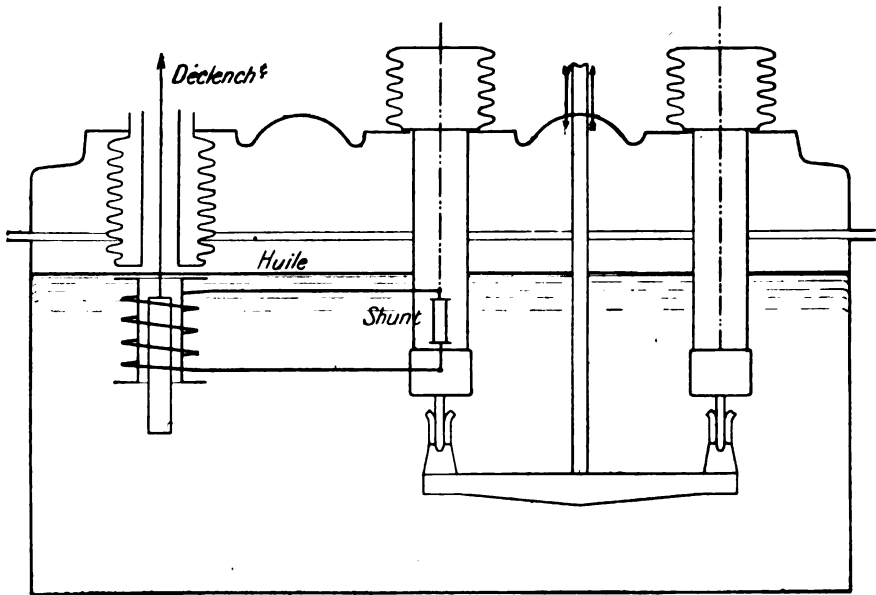


Fig. 18.

lui-même tous les accessoires nécessaires au fonctionnement (*fig. 18*).

» Schématiquement, l'appareil que nous présentons se compose du bâti en fonte dont nous avons déjà parlé, des porcelaines de pénétration, d'un organe mobile, d'une bobine placée sur le côté de l'appareil et convenablement isolée. Cette bobine agit directement, par une tirette isolée, sur l'organe de déclenchement. Cette bobine, pour faciliter le réglage, peut être shuntée.

» Dans un autre dispositif d'appareil plus simple (*fig. 19*), la bobine se trouve mise directement sur l'équipage mobile et agit pour produire le déclenchement.

» En somme, étant donné ce que j'ai déjà dit des interrupteurs haute tension et de leur dimensionnement, les disjoncteurs n'étant autre chose que des interrupteurs rendus automatiques, je n'ai pas besoin de m'étendre plus longuement.

» Toutefois, je ne veux pas quitter ce chapitre sans dire quelques

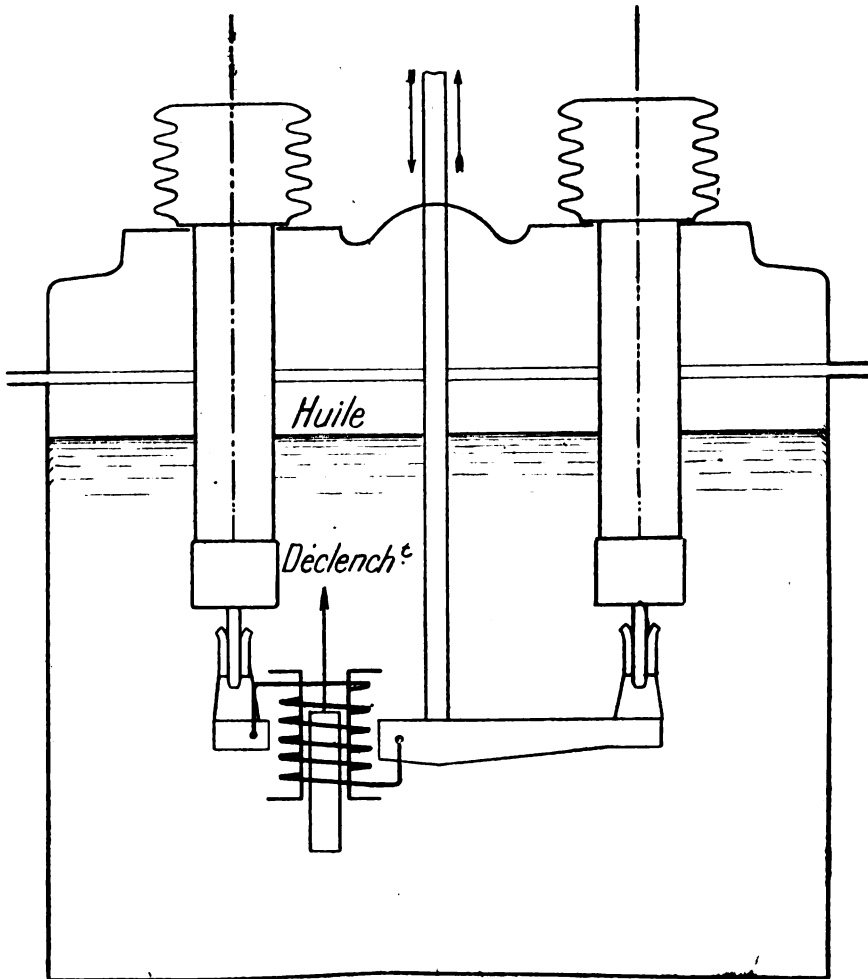


Fig. 19.

mots sur l'opportunité de faire fonctionner les disjoncteurs immédiatement ou non après l'excès de débit, c'est-à-dire de *retarder* leur action.

» On admet, presque toujours, que les génératrices d'une usine, ou les moteurs d'une installation, sont susceptibles, pendant un

temps court, de supporter une surcharge considérable. Par conséquent, si cette surcharge peut avoir lieu sans inconvénient, il serait souvent nuisible plutôt qu'utile d'avoir des disjoncteurs qui fonctionnent instantanément. On a donc été conduit à construire des appareils fonctionnant avec un certain retard; on dit qu'ils sont à action retardée, différée, temporisée, à temps, etc.

» Les ingénieurs ne sont pas d'accord sur la terminologie à employer en la circonstance. Aussi vais-je proposer de s'arrêter à deux termes qui définissent des modes différents.

» Certains chefs de station demandent que leur disjoncteur ne fonctionne qu'au bout d'un *certain nombre de secondes*, toujours le même pour le même appareil s'il y a excès de débit. Par exemple, un disjoncteur normal de 100 ampères fonctionnera au bout de 10 secondes s'il est traversé par 200.

» Nous proposons de nous rallier à l'expression bien définie qui consisterait à dire que ce disjoncteur serait *temporisé* à 10 secondes, ce qui revient à dire qu'il fonctionnera toujours en laissant, pendant 10 secondes, passer l'excès de débit et que si dans l'intervalle, c'est-à-dire au bout de 8 secondes, la cause qui a provoqué l'excès de courant a disparu, il se retrouvera en l'état normal et ne fonctionnera à nouveau que si un autre excès de débit se présente pendant 10 secondes.

» Au contraire, d'autres chefs de station disent : « Ma station, » mon installation ou ma ligne peut supporter normalement sans » inconvénient 10 pour 100 de surcharge. Si la surcharge est de » 20 pour 100 j'estime qu'elle peut la supporter pendant 20 se- » condes et 50 pour 100 pendant 10 secondes, 100 pour 100 pen- » dant 2 secondes, etc. Je veux avoir un appareil qui permette ces » excès mais pas davantage. » Il faudra donc apporter un *retard variable* dans le fonctionnement du disjoncteur et alors nous proposons de dire simplement que, dans ces conditions, cet appareil sera un *disjoncteur retardé*, ce qui voudra dire que le retard sera d'autant plus court que l'intensité est plus forte.

» Différents procédés peuvent être employés; je me contenterai de vous en indiquer quelques-uns.

» D'abord (*fig. 20*), celui que nous employons pour obtenir le déclenchement temporisé; l'électro à maximum intercalé dans la

haute tension agit sur un contact qui envoie du courant dans un solénoïde à fil fin. Ce solénoïde est alimenté par une source constante ou à peu près. Ce second solénoïde est solidaire d'une cataracte réglée de façon que la fin de course ait lieu au bout de N secondes et c'est cette fin de course qui provoque le déclenchement du disjoncteur.

» On conçoit facilement qu'avec ce dispositif extrêmement simple

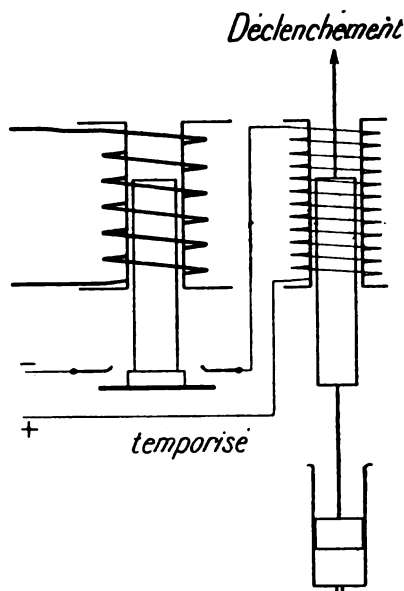


Fig. 20.

le fonctionnement ait lieu toujours au bout du même nombre de secondes, puisque, quelle que soit l'intensité qui passe dans le gros fil, le fil fin est toujours alimenté de la même manière.

» Pour le fonctionnement retardé (*fig. 21*), nous plaçons seulement et directement sur l'électro gros fil une cataracte dans laquelle l'écoulement du liquide est convenablement réglé. On conçoit que, plus le nombre d'ampères-tours est grand, plus la pression sur le liquide est grande, l'écoulement plus grand, l'attraction plus rapide.

» Je veux vous signaler également un dispositif extrêmement ingénieux, quoiqu'un peu compliqué, pour obtenir un fonctionnement retardé et qui consiste à mettre un disque de cuivre entre les pôles d'un électro-aimant polarisé par le courant principal (*fig. 22*), à l'aide d'un transformateur de courant. Les courants de Foucault produits tendent à faire tourner le disque. Ce disque porte

sur son axe une chainette à laquelle est attaché un poids. Au bout

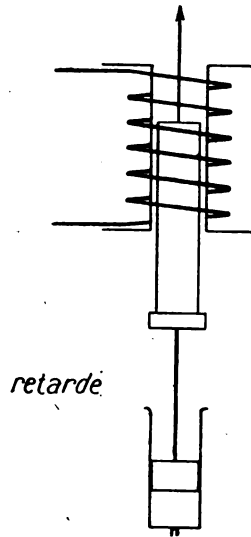


Fig. 21.

d'un certain nombre de tours, la chainette agit sur un relais ou ac-

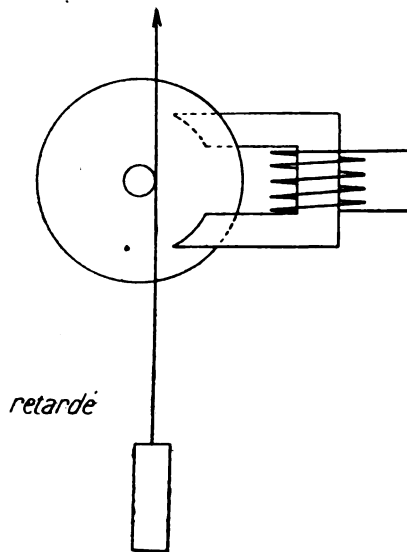


Fig. 22.

tionne directement le disjoncteur. On comprend alors que, plus l'intensité est forte, plus le disque tourne vite et plus la rupture se fait

rapidement. Pour une certaine valeur d'intensité qui est celle de réglage, il y a équilibre entre le poids et la tendance du disque à tourner et le déclenchement ne se produit pas.

» Je vous signale en terminant que, pour la haute tension, le principe du déclenchement empêché est encore beaucoup plus indispensable que pour la basse tension. Aussi, dans l'appareil que nous vous présentons, nous l'avons réalisé d'une façon très simple comme vous pouvez le voir, fonctionnant avec ces quelques lampes et sur les détails de laquelle je ne m'étendrai pas.

» *Tableau de distribution haute tension.* — La conception d'un tableau de distribution pour haute tension est une chose toujours sérieuse qui nécessite du soin, car il est rare que ce tableau n'ait pas une certaine importance.

» Nous distinguerons deux sortes principales de tableaux : ceux qui servent dans les sous-stations ou dans les stations de faible importance et ceux qui servent dans les grandes centrales.

» La disposition vers laquelle on tend est basée surtout sur des considérations de sécurité d'emploi. Il faut, en effet, non seulement que le personnel appelé à manœuvrer les appareils soit à l'abri de tout danger, mais encore qu'il ne puisse y avoir d'amorçages d'arcs intempestifs entre les barres et pièces diverses.

» Les appareils généralement employés sont ceux dont nous avons parlé tout à l'heure et l'on conçoit immédiatement que l'on soit conduit à mettre ces appareils à une certaine distance du point où se fait la manœuvre. Les appareils sont alors, quand il s'agit des interrupteurs ou des disjoncteurs, commandés à distance et cette commande se fait soit mécaniquement, soit électriquement, soit quelquefois par les deux systèmes réunis. Dans l'un et l'autre cas de commande à distance, on ajoute généralement sur l'appareil commandé un organe de signalisation qui consiste le plus souvent en un contact allumant une lampe.

» Il n'est pas toujours judicieux de recourir indifféremment à l'un ou l'autre système. A notre avis, la commande électrique doit être choisie toutes les fois que la distance entre les appareils et le poste de manœuvre est très grande, ou les transmissions mécaniques difficiles à établir.

» La commande mécanique doit être établie toutes les fois que la distance n'est pas grande et les transmissions faciles.

» Enfin, la commande simultanée doit être réservée à certains cas particuliers où l'on a un désir très grand d'une sécurité absolue et, en tout cas, il sera préférable d'avoir deux appareils en série dont l'un sera commandé mécaniquement et l'autre électriquement, l'un des deux seulement servant à la manœuvre courante.

» Par suite de ces considérations, on dispose les tableaux haute tension importants en plusieurs compartiments; ceux-ci seront quelquefois dans le même plan, mais plus généralement sur des plans différents constituant des étages successifs.

» Sur le croquis ci-contre nous représentons une disposition schématique qui peut être employée (*fig. 23*).

» Les appareils différents sont placés dans des cloisonnements faits de matière isolante et incombustible, telle que l'ardoise, mais plus souvent de ciment armé. Chaque barre de polarité différente est placée dans une alvéole et se trouve ainsi isolée non seulement électriquement mais aussi mécaniquement.

» A ce sujet, je dois vous signaler que ce cloisonnement, pour être judicieusement établi, ne doit pas servir seulement à séparer les différentes unités. C'est ainsi qu'on ne doit pas faire un compartiment pour un alternateur, un deuxième compartiment pour l'autre, etc., mais bien *des compartiments successifs pour chacune des phases* d'un alternateur si c'est d'alternateurs qu'il s'agit. L'étude d'un pareil tableau est toujours assez complexe, dépend des circonstances de l'installation et de la disposition des locaux; mais, en général, la préoccupation de l'ingénieur qui construit une centrale doit se porter *avant toute chose* sur la conception du tableau ou plutôt sur l'ensemble des appareils qui constituent ce tableau, de façon que le bâtiment soit fait pour loger cet ensemble et non pas, comme cela arrive trop souvent, faire un tableau pour le bâtiment.

» Dans le schéma on voit, à l'étage supérieur, les panneaux basse tension et les pupitres qui servent à manœuvrer les appareils servant à la haute tension. De cet étage on a vue sur la salle des machines. L'étage au-dessous comprend la basse tension, les rhéostats d'excitation, etc.; l'étage immédiatement inférieur, les

appareils et les barres haute tension et enfin, plus bas, les arrivées de câbles et appareils de protection de ceux-ci contre les surtensions.

» Ce que nous avons dit plus haut des dispositifs à employer

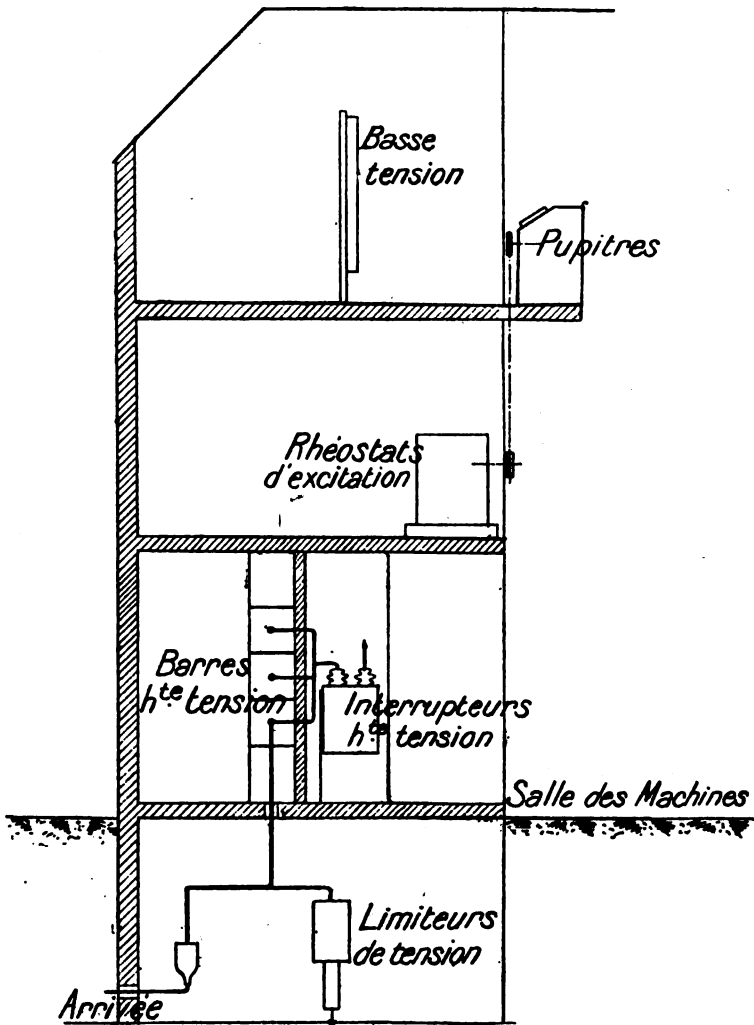


Fig. 23.

pour les tableaux basse tension s'applique ici, savoir : autant que possible, suppression des marbres. Nous n'y reviendrons pas.

» *Appareils de protection des tableaux et des câbles haute tension.*
— Nous avons déjà parlé des disjoncteurs et des coupe-circuits. Ce

sont des appareils qui protègent contre des excès d'intensité. Mais il arrive souvent dans les installations que, par suite de causes plus ou moins complexes, des surtensions se produisent, lesquelles peuvent engendrer des accidents graves.

» Le premier de ces accidents consiste dans la rupture des isolants, soit des câbles, soit des organes de transformateurs et alternateurs.

» En effet, ces isolants sont toujours calculés, dans un but d'économie et de pratique d'installation, plus ou moins près de leur point d'emploi. Des surtensions peuvent se produire et se produisent souvent qui dépassent cette limite de sécurité. Si une surtension a lieu l'isolement est crevé, un arc s'amorce et la mise en court-circuit existe, ce qui entraîne l'arrêt total ou partiel de l'exploitation.

» Un accident d'une autre nature, qui prend sa cause également dans les surtensions, est l'amorçage d'arcs entre les parties métalliques non couvertes, soit à la terre, soit aux pôles voisins.

» Or il n'est pas possible pratiquement de réaliser une installation dans laquelle les parties métalliques seraient suffisamment écartées pour qu'un arc, une fois amorcé, ne se maintienne pas.

» Je mets sous vos yeux (*fig. 24*) une courbe représentant la distance d'amorçage des arcs entre deux parties conductrices et une autre courbe indiquant les distances minima d'emploi pratique. Nous voyons, par exemple, que des barres à 15 000 doivent être écartées de 35 cm. Cette distance est déjà relativement grande et entraîne des dimensions considérables dans l'installation. Pour obvier aux inconvénients signalés plus haut, on a imaginé des appareils qui prennent le nom de *limiteurs de tension*.

» Ces appareils créent un point faible où, en cas de surtension, l'arc vient s'amorcer et, cet arc une fois amorcé, limite l'effet de la surtension dans tous les points voisins.

» La préoccupation qui préside à l'établissement de ces limiteurs de tension est analogue à celle qui préside à l'établissement des parafoudres dont nous parlerons tout à l'heure. Mais nous verrons également que ces deux appareils diffèrent sensiblement (*fig. 25*).

» Le limiteur de tension le plus généralement employé se com-

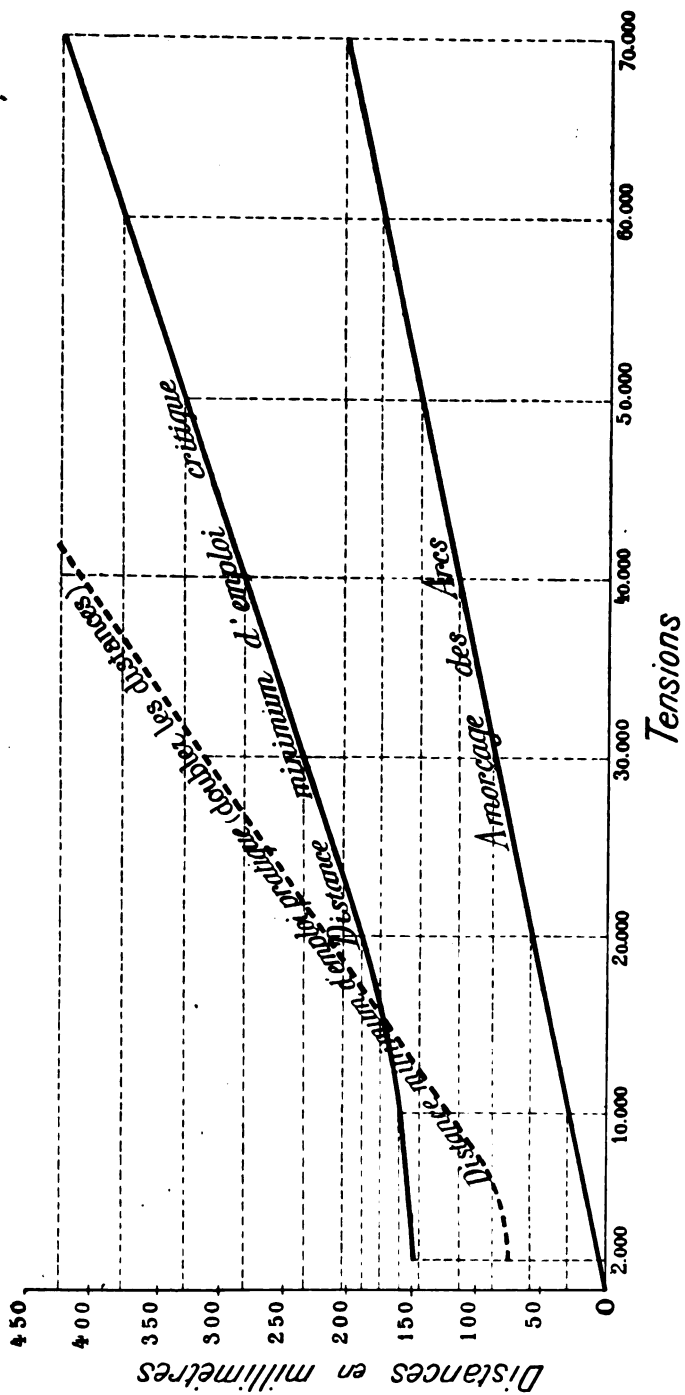


Fig. 24.

pose d'un certain nombre de pièces métalliques voisines les unes des autres et dont les deux extrêmes sont reliées à deux pôles entre lesquels on veut limiter les effets nuisibles d'une surtension. L'écartement total est tel que, pour une tension *aussi légèrement que possible* supérieure à la tension d'emploi, l'effluve amorce un arc qui devra s'éteindre *de lui-même* lorsque la surtension aura disparu. Là est la difficulté du problème.

» Pour réaliser un bon limiteur de tension, il faut donc à la fois

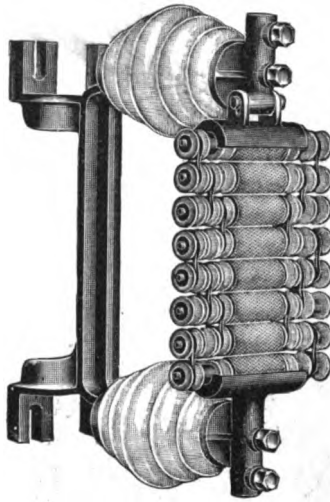


Fig. 25.

rendre l'amorçage de l'arc facile et faire que son extinction se produise seule.

» On intercale dans le circuit une résistance ohmique qui aura une valeur telle que l'intensité, une fois l'arc amorcé, ne dépasse pas une valeur déterminée. Dans les appareils que nous construisons nous réglons, pour les limiteurs de tension, l'intensité maximum à $\frac{1}{10}$ d'ampère environ; si bien que, pour 5000 volts par exemple, nous aurons une résistance de 50000 ohms.

» Cette résistance peut être réalisée d'une manière quelconque, mais elle sera sans self-induction et non susceptible de s'échauffer par le passage du courant. Le problème se limite alors à rompre automatiquement, par des organes statiques, un courant de $\frac{1}{10}$ d'ampère par exemple et de tension indiquée.

» La disposition des limiteurs de tension que nous employons et

que nous présentons (*fig. 25*), consiste à avoir un certain nombre de rouleaux faits principalement pour obtenir ce résultat. L'arc, en effet, s'amorçant à travers les rouleaux, est constitué d'une grande quantité de petits arcs élémentaires dont chacun, en l'espèce, a environ 0,5 mm. Cet arc, pour se maintenir, a de grandes difficultés: d'abord grâce à la résistance ohmique dont nous avons parlé; ensuite il faudrait, pour qu'il se maintienne, qu'il y ait transport de molécules métalliques incandescentes et, pour cela, échauffement de pièces métalliques ayant une masse relativement considérable. De sorte que l'arc établi dans ces conditions a toutes chances de se rompre et que la marge entre le point où il s'amorce et le point où il se coupe est faible.

» Je vais essayer de mettre en lumière devant vous, par une expérience simple, l'utilité de constituer ce limiteur de tension par un nombre élevé de cylindres et non par un petit nombre.

» Nous avons mis ici en série un nombre de limiteurs pour tension relativement basse afin d'opérer sur une tension plus élevée. Nous avons au total environ 80 *intervalles*.

» Élevons la tension. A 20 000 volts, nous voyons de petites aigrettes et, à 40 000 volts, les décharges sont constantes. Le volt-mètre ci-contre montre qu'il n'y a pas de chute de tension sensible et les choses pourraient rester en l'état longtemps.

» Voici, au contraire, un limiteur qui est constitué par deux cylindres seulement, mais l'*écart total est le même* dans les deux cas. L'arc s'amorce à 35 000 volts; à 40 000, il est très nourri et pourrait se maintenir. En effet, vous constatez une chute de tension considérable et l'arc ne se rompt plus qu'aux environs de 8 000 à 10 000 volts.

» En résumé, plus le nombre d'intervalles élémentaires est grand, plus petite peut être la marge d'emploi entre la tension normale et celle de protection.

» En outre, la présence d'une résistance ohmique judicieusement établie a une grande importance. Il ne faut pas craindre de donner à cette résistance une grande valeur, car les énergies mises en jeu par les phénomènes de surtensions sont toujours très faibles. Il n'en sera pas de même dans la question des parafoudres.

» L'appareil que vous avez sous les yeux a été étudié spécialement, tant au point de vue de la rupture des arcs que de la bonne isolation et de la facilité de réglage. Nous en avons plusieurs centaines en service et il nous a été donné de constater l'efficacité de la protection procurée par ces appareils. Des expériences ont été faites dans certains réseaux très importants où des câbles claquaient souvent. On a mis ces limiteurs de tension; les ruptures ont cessé. La contre-épreuve a montré que, en enlevant les limiteurs, les ruptures d'isolement se présentaient à nouveau.

» *Parafoudres.* — La question des limiteurs de tension me conduit naturellement à vous parler de celle des parafoudres. Je laisserai dans l'ombre ceux à basse tension, parce qu'ils sont plus connus et qu'ils sont moins délicats.

» En général, on est mécontent du fonctionnement des parafoudres. On pourrait citer de nombreuses installations, et non des moindres, dans lesquelles ces organes donnent lieu à des ennuis. Je dois dire que, à mon avis, ces ennuis viennent plus d'un défaut d'installation ou d'un mauvais choix du modèle que d'un défaut de principe.

» Tout d'abord on doit s'inspirer, dans l'installation des parafoudres, des règles qui président à l'installation des *paratonnerres* sur les maisons. Si l'on pouvait établir un conducteur direct entre le fil de ligne à protéger et la terre, dans les mêmes conditions que le conducteur que l'on place, par exemple, sur une cheminée d'usine avec les mêmes sections, absence de coudes, bonne prise de terre, etc., on serait bien protégé. Mais la connexion est impossible à réaliser, car elle mettrait en court-circuit par la terre le réseau que l'on veut protéger. Force est donc d'intercaler dans le circuit un appareil tel qu'il se laisse facilement traverser par les décharges atmosphériques et s'oppose au passage du courant dynamique de la ligne. Cet appareil est le parafoudre.

» A l'origine, on s'est contenté de mettre deux parties métalliques séparées par un espace d'air et disposées de façon que la décharge puisse passer de l'une à l'autre en escomptant la résistance de cet espace d'air pour s'opposer au passage du courant industriel. Mais, au fur et à mesure que la tension a augmenté dans

les lignes, on a été conduit à agrandir cet espace d'air, si bien qu'il est arrivé un moment où le parafoudre s'opposait bien au passage du courant de la ligne, mais ne laissait plus passer que difficilement ou même pas du tout la décharge atmosphérique.

» Il est très difficile d'être renseigné exactement sur la tension des décharges atmosphériques, mais on admet généralement qu'elles peuvent ne pas être supérieures à 150000 ou 200000 volts, pour atteindre quelquefois des valeurs énormes.

» Nous avons encore le souvenir de parafoudres constitués par deux cornes uniques et destinés à une ligne de 30000 volts dans laquelle on avait dû porter l'écart à 80 mm pour n'avoir pas d'amorçages intempestifs à un moment où il n'y avait pas trace d'un orage dans l'air. Il va sans dire qu'un tel parafoudre ne présentait plus grande sécurité, car la décharge atmosphérique pouvait tout aussi bien alors, arrivant sur la ligne, passer par un autre endroit que par le parafoudre.

» On conçoit de plus que dans un appareil bien établi, pour une tension plus faible par exemple, dans lequel il est possible de rapprocher les cornes, la décharge atmosphérique amorce un arc qui peut être maintenu par le courant même de la ligne et c'est alors que les considérations que nous développons tout à l'heure, pour les limiteurs de tension, interviennent.

» Il faut faire que l'arc amorcé par la décharge atmosphérique ait toutes les difficultés possibles à se maintenir. La première mesure consistera à intercaler dans le circuit une résistance ohmique appropriée; mais ici, il ne faut pas perdre de vue que les énergies mises en jeu sont considérables et que la résistance, qui pouvait servir tout à l'heure pour le limiteur de tension, ne pourra généralement plus avoir son application ici. Cette résistance devra être de dimensions vastes et avoir une valeur ohmique minimum.

» C'est ainsi que dans nos parafoudres, suivant les cas et suivant les modèles, nous limitons l'intensité amorcée par le court-circuit à une valeur qui varie entre un et un quart d'ampère.

» On conçoit alors, si nous prenons 1 ampère, par exemple, qu'un parafoudre à 10000 volts doit être capable de rompre de lui-même une intensité de 1 ampère à 10000 volts. Le parafoudre n'aura donc pas du tout la même physionomie que le limiteur de

tension, lequel est fait pour être traversé par une énergie beaucoup plus faible.

» C'est d'après ces observations que nous avons établi le parafoudre que nous vous présentons. Je dois dire qu'un appareil qui serait destiné à être placé intérieurement pourrait n'être pas le même qu'un appareil destiné à être mis à l'extérieur.

» En effet, l'appareil, mis extérieurement, est soumis aux intem-

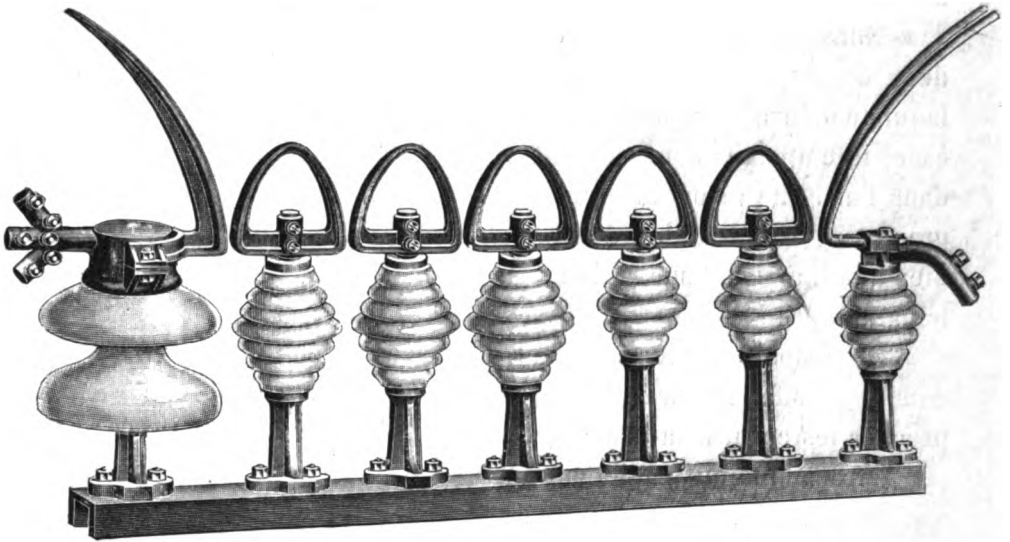


Fig. 26.

péries, pluie, neige, etc. Par conséquent, la distance minimum entre les parties métalliques qui le constituent est toujours relativement grande, car, s'il en était autrement, l'arc pourrait être amorcé par les gouttes de pluie ou par la neige. A l'intérieur, il n'en serait pas de même et l'on pourrait installer un appareil dans lequel les écarts élémentaires seraient aussi petits que dans le limiteur de tension. Mais, en général, les parafoudres sont faits pour protéger les installations aériennes et, par conséquent, extérieures. Il est donc préférable, à notre avis, de constituer un appareil qui puisse impunément être placé à l'intérieur ou à l'extérieur.

» Dans ces conditions, la considération qui limite le rapprochement des deux éléments successifs est une considération purement mécanique et nous pensons qu'il ne faut pas descendre au-dessous de 8 mm, et cette distance est déjà faible. D'autre part le désir de

faciliter la rupture des arcs et le passage de la décharge atmosphérique conduit à avoir un écart minimum. Nous estimons qu'il ne faut pas dépasser 15 à 16 mm. Donc les parafoudres seront tels que les espaces élémentaires seront réglables entre 8 mm et 15 mm et cette obligation détermine, suivant la tension de la ligne, le nombre d'intervalles qu'il faudra placer.

» C'est ainsi que dans le Tableau ci-contre, suivant les tensions de ligne, on trouvera le nombre d'intervalles que nous employons dans notre fabrication :

Isolements en volts.	Nombre d'intervalles.	Tensions d'emploi	
		minimum.	maximum.
6000	1	1000	5000
15000	2	6000	12000
30000	4	15000	25000
50000	6	20000	35000
60000	8	25000	50000
60000	10	30000	50000
70000	12	40000	50000
80000	15	50000	50000

» Un parafoudre établi dans ces conditions est tel que la marge entre le point où l'arc s'amorce et la valeur d'extinction est relativement faible et, par conséquent, donne la plus grande sécurité possible quant au passage de la foudre.

» Je vais vous montrer que, dans l'appareil que vous avez sous les yeux, l'arc s'amorce à 30000 volts et s'éteint à 20000 volts, marge qui est beaucoup plus grande que dans les limiteurs de tension, mais très suffisante pour les emplois industriels.

» C'est ainsi que nous réaliserions un parafoudre sur le même principe et avec le nombre d'écarts suffisants pour que l'arc s'amorce à 100000 volts et puisse s'éteindre à 70000 volts environ. On remarquera que les limites de sécurité et de possibilité, du moins d'après les principes que nous vous soumettons, seront atteintes pour des lignes allant jusqu'à 80000 et 100000 volts. En effet, au-dessus de cette tension, il ne sera plus possible de réaliser un parafoudre qui satisferait à la décharge atmosphérique puisqu'il faut tabler à partir de 150000 volts environ et qu'il couperait l'arc produit par le courant de la ligne.

» Cependant, il est à présumer que, si l'on fait des lignes à 100000 volts et plus, certains artifices permettront de les mettre à l'abri de la foudre.

» Vous avez remarqué que, pour faire l'essai de ce parafoudre tel que nous venons de le présenter, nous l'avons placé à plat. C'est que nous avons voulu que l'extinction de l'arc se fasse par la résistance même du circuit et non mécaniquement par suite du courant ascensionnel d'air chaud qui est produit. En effet, nous allons renouveler l'expérience en plaçant l'appareil dans la position verticale et l'arc, qui tout à l'heure ne se coupait pas, à 30000 volts, se coupe maintenant.

» Cela me donne l'occasion d'attirer votre attention sur un phénomène très connu, mais sur la nature duquel tout le monde n'est pas d'accord; je voudrais en profiter pour vous dire ma manière de voir à ce sujet et vous montrer, du moins je l'espère, la véritable cause du fonctionnement.

» Le principe de la rupture sur cornes pour des parafoudres interrupteurs ou coupe-circuits est assez connu. Deux cornes sont placées comme nous vous le montrons. Lorsque la tension est suffisante, on voit l'arc monter, s'allonger et s'éteindre.

» Certains ingénieurs attribuent ce phénomène à une action inductrice. Pour ma part, je n'y crois pas. La rupture est produite exclusivement par le courant ascensionnel d'air chaud qui est produit et il va m'être facile de le démontrer.

» Tout d'abord, si nous plaçons l'ensemble des deux cornes dans un plan horizontal, nous ne voyons pas du tout l'arc sollicité vers l'extrémité. Nous le voyons, au contraire, se diriger vers la partie supérieure et se maintenir. Si ensuite nous faisons jaillir, comme je vous le présente, l'arc entre deux cercles voisins, cercles dans lesquels nous ferons arriver le courant par les points diamétralement opposés et, par conséquent, d'une façon telle que l'intensité se répartisse également dans les deux branches, il sera évident que, si action inductrice il y a, elle est égale des deux côtés et qu'il n'y a aucune raison pour que l'arc n'aille pas aussi bien en bas qu'en haut.

» Enfin, dans la même expérience, si nous soufflons très légèrement de bas en haut, nous voyons l'arc se diriger vers le bas et se

rompre de ce côté. Dans cette éventualité, nous avons remplacé le courant ascensionnel d'air chaud par un courant artificiel. Il est donc évident, à mon avis, qu'aucune action inductrice n'est intervenue efficacement et que l'action a été purement mécanique.

» C'est cette action que nous appliquons dans nos parafoudres pour faciliter la rupture de l'arc. Cette action n'intervient que si l'énergie mise en jeu est suffisante pour qu'il y ait chaleur produite et échauffement de l'air.

» *Productions de très hautes tensions.* — Où s'arrêtera-t-on dans l'emploi des très hautes tensions ? Nul ne peut le dire. Nous avons, dans ces dernières années, assisté à un tel crescendo qu'il serait tout à fait illogique de dire que les tensions de 50000, 60000 volts que l'on emploie (et même celles de 80000 volts dont on parle) sont les limites définitives.

» On arrive industriellement à faire des transformateurs de 50000 et 60000 volts, mais où l'on est gêné, c'est dans la question des essais. On admet généralement qu'il faut disposer de tensions d'essai de trois à quatre fois supérieures à celles d'emploi ; si bien que c'est 150000 à 200000 volts qu'il faut avoir au moins pour le moment. Les spécialistes vous diront que ce n'est pas chose facile.

» De plus, il est désirable, ne fût-ce qu'au point de vue purement spéculatif, d'étudier les tensions très élevées. Nous avons donc pensé qu'il serait intéressant de trouver un dispositif simple qui permit facilement, avec des éléments faciles à construire, de monter aussi haut qu'on le voudrait : 300000, 400000, 500000 volts et même davantage.

» Admettons que construire un transformateur à 100000 volts soit chose relativement facile et non trop onéreuse. Mettre à la façon ordinaire plusieurs transformateurs en série, il n'y faut pas songer ; les secondaires donneraient bien, dans le cas de deux appareils, les 200000 volts demandés, mais il faudrait isoler les deux enroulements de chaque transformateur à 200000 volts et alors autant vaudrait construire directement un transformateur à 200000 volts.

» Nous avons imaginé ce qui suit (*fig. 27*) :

» Un premier transformateur donne, par exemple, 110-100000, isolé pour 100000.

» Un deuxième transformateur donne 110-110, isolé pour 100000. Ce deuxième est lui aussi facile à construire et le secondaire alimente alors le primaire d'un troisième transformateur de 110-100000, isolé encore à 100000.

» Ce troisième transformateur est posé sur le deuxième par un isolement à 100000 volts et, par conséquent, son isolement haute

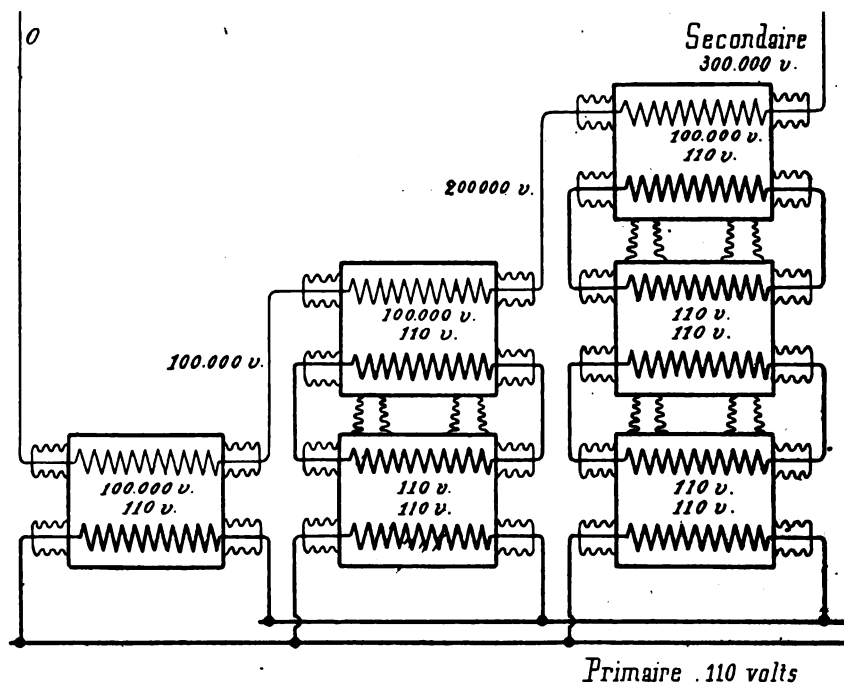


Fig. 27.

tension est isolé à la masse pour 200000 volts. Nous pouvons donc le mettre en série avec le primaire de tout à l'heure ; et ainsi, avec trois éléments de 100000 volts seulement, que nous admettons savoir bien et économiquement construire, nous avons réalisé un transformateur de 200000 volts.

» Si nous voulons ajouter une troisième tranche de 100000 volts à mettre à nouveau dans le circuit, nous la constituerons avec deux transformateurs de 110-110, isolés à 100000 volts que nous mettrons en cascade, le troisième transformateur de 110-100000 se trouvant ainsi isolé de la masse à 300000 volts.

» Et ainsi de suite pour chaque tranche supplémentaire. On remar-

quera que chaque augmentation de 100000 nécessite un transformateur de plus que les précédents.

» On se demandera tout de suite si, au lieu d'employer, comme c'est le cas pour avoir 300000 volts, 6 transformateurs à 100000 volts, il ne serait pas préférable de faire tout de suite un transformateur à 300000 volts. C'est une question de calcul de prix de revient et surtout de sécurité de réussite. Les constructeurs qui consentent à faire des transformateurs au-dessus de 150000 volts ne sont pas nombreux et ils demandent tous des prix très élevés. Avec le dispositif que je vous indique, la réussite me semble obligatoire.

» Il faut remarquer, de plus, au point de vue du prix de revient, que, si le nombre des transformateurs augmente, le nombre de spires fil fin n'est pas supérieur dans ce dispositif à ce qu'il serait dans un transformateur direct, de plus, à puissance égale, elles sont moins grandes. Les enroulements en gros fil seuls se répètent et ce ne sont pas les plus difficiles à faire.

» Au point de vue du rendement, il est vraisemblable que le dispositif que je propose sera moins bon qu'avec un transformateur direct à cause des transformations successives, mais ce n'est pas encore bien évident, car, dans des transformateurs de très haute tension, les nécessités d'isolation conduisent à des dispositions mauvaises au point de vue du rendement.

» Enfin, pour le moment du moins, ce n'est pas un instrument industriel que je propose, mais surtout un moyen d'obtenir un transformateur permettant tous les essais que nécessite notre industrie.

» Je m'arrêterai là.

» En vous remerciant de votre attention, je m'excuse de n'avoir pu être plus bref et je me permets de vous rappeler les quelques désirs que j'ai manifestés :

» D'abord, que les industriels veuillent bien faire intervenir, dans la désignation de l'intensité des appareils, la notion de la consommation et de l'échauffement ;

» Qu'ils veuillent bien, autant que possible, renoncer aux coupe-circuits pour leur préférer des disjoncteurs et qu'enfin ils adoptent, faute d'autres meilleurs, les vocables *temporisé* et *retardé*, quand il y a lieu, pour le fonctionnement des appareils automatiques. »

M. le PRÉSIDENT remercie M. Vedovelli et, constatant que sa Communication suscite des observations, vu l'heure avancée, remet la discussion à la prochaine séance.

La séance est levée à 11^h 10^m du soir.

INFORMATIONS.

La bibliothèque ayant appartenu à M. Hospitalier, ancien Président de la Société, sera vendue aux enchères le 6 décembre prochain à la Salle Sylvestre, 28, rue des Bons-Enfants. Cette bibliothèque, dont le Catalogue sera envoyé sur demande adressée à MM. Paul et fils et Guillemin, 28, rue des Bons-Enfants, renferme un grand nombre d'Ouvrages techniques et de Revues en français, anglais, allemand, italien, etc.

Le Cours public de Photographie, en vingt leçons, confié à M. Ernest Cousin par la Société française de Photographie, se rouvrira, pour la 13^e année, le mercredi 20 novembre 1907, à 9 heures du soir, pour être continué les mercredis suivants, à la même heure, dans l'Hôtel de la Société, 51, rue de Clichy, à Paris. Les dames sont admises.

BIBLIOGRAPHIE.

Formules, Tables et renseignements usuels. Aide-Mémoire des Ingénieurs, des Architectes, etc. Partie pratique, par J. CLAUDEL; onzième édition entièrement refondue sous la direction de Georges DARIÈS, Tome I^{er}, 1 vol., 1112 pages, 612 figures. Paris, Dunod et Pinat, éditeurs, 1907.

L'Ouvrage de Claudel est suffisamment connu pour qu'il ne soit pas nécessaire de le présenter et d'en faire l'éloge.

Il n'y a presque pas d'Ouvrage technique ayant eu un aussi long et aussi légitime succès (la première édition a paru en 1846) et la nouvelle édition publiée sous la direction de M. G. Dariès ne peut manquer d'obtenir la même faveur.

Le premier Volume renferme les Chapitres suivants :

Mécanique. Résistance des matériaux. Hydraulique. Moteurs hydrauliques. Distribution d'eau et assainissement. Physique industrielle. Électricité.

Nous n'entrerons pas dans le détail de l'analyse de ces Chapitres; il suffit de répéter qu'ils renferment une mine de renseignements précieux; tout ce qui concerne l'Hydraulique, en particulier, a été complètement et heureusement remanié par M. G. Dariès.

On peut regretter cependant que les questions d'unités n'aient pas toujours été traitées avec l'attention qu'elles méritent et que, par exemple, on trouve trop souvent des confusions entre force, puissance et travail, etc.

Nous aurions voulu nous étendre plus longuement sur le Chapitre *Électricité*, mais il est malheureusement assez court (114 pages), des considérations plus ou moins théoriques prennent une place importante et les renseignements pratiques analogues à ceux qu'on trouve dans les autres Chapitres sont peu nombreux.

L'Électricité, par Lucien POINCARÉ, Inspecteur général de l'Instruction publique (*Bibliothèque de Philosophie scientifique*). Ernest Flammarion, éditeur.

En consacrant un Volume de cette intéressante Collection à l'*Électricité*, dans le sens où l'éminent auteur a envisagé sa tâche, l'éditeur a eu une heureuse et féconde inspiration.

Le caractère de l'Ouvrage de M. Poincaré est absolument inédit, quoique la matière ait déjà fait à cette heure l'objet d'innombrables traités.

Il a, en effet, été écrit non pour les seuls spécialistes ou pour les débutants, mais, comme le dit l'auteur dans sa Préface, pour le public éclairé qui, aujourd'hui, se passionne au progrès des Sciences.

La présentation des conséquences pratiques des principes démontrés ou admis intéressera également les physiciens qui se retremperont dans le tableau fidèle de l'état actuel des évolutions de la science de l'Électricité.

Signalons, parmi tant de belles et éloquentes pages, la méthode employée par M. Poincaré pour faire entrevoir au lecteur la marche que suivrait le cerveau d'un expérimentateur sagace qui, ignorant tout de l'Électricité, posséderait la notion du champ magnétique et celle de l'énergie telle que nous la concevons aujourd'hui, et chercherait à pressentir les lois de l'induction.

De même, avec une élégance rare et en restant absolument à la portée du public qu'il vise particulièrement, M. Poincaré explique la création de la force électromotrice en rejetant systématiquement les assimilations classiques à des phénomènes plus ou moins semblables dans leurs manifestations extérieures.

Sous prétexte de vulgarisation, nos habitudes portent, en effet, trop naturellement les auteurs les mieux intentionnés à fausser les idées de leurs lecteurs par des images dont la vulgarité n'a d'égale que la grossière équivalence. C'est, à notre sens, une révélation que d'avoir montré, dans ce Volume sur *l'Électricité*, qu'il était possible de donner une définition exacte et directe de la force électromotrice tout comme bien des parties de la Science admettent à leur base des postulats ou des faits expérimentaux.

C'est là, croyons-nous, la caractéristique de l'Ouvrage dont tout serait à citer et qui est à lire par tous, et que l'on proclamerait, à bon droit, le meilleur Livre actuel sur l'Électricité : maîtres, élèves, amateurs de la bonne Science pourront tous y puiser d'utiles enseignements ou de saines méthodes d'exposition.

Neuere elektrophysikalische Erscheinungen, par Ernst RUHMER, 2^e édition, révisée et augmentée; 1^{re} Partie : *Progrès réalisés en télégraphie et en téléphonie*, avec 215 figures dans le texte, publié par l'administration du périodique *Der Mechaniker*. F. et M. Harrwitz, 1907.

La première édition de cette publication a été accueillie en Allemagne avec une faveur si marquée, en raison précisément de son caractère spécial, que l'auteur et les éditeurs ont dû, pour la seconde édition, diviser l'Ouvrage en deux Parties séparées, dont la première traite des progrès et des actualités concernant la télégraphie et la téléphonie.

D'un caractère très descriptif des plus intéressants et pourvu d'abondantes figures, ce Volume aborde directement les applications les plus modernes sans développements théoriques généraux préalables. C'est-à-dire que l'Ouvrage s'adresse aux ingénieurs, aux praticiens, aux constructeurs et aux inventeurs pour lesquels il constitue un recueil précieux où abondent les détails de construction et les schémas pratiques, surtout pour la télégraphie.

Nous en indiquerons les principales divisions : appareils pour la télégraphie rapide, appareils de télégraphie multiple, télégraphie sous-marine, description des télé-autographes de divers systèmes, télégraphes copiants, téléphones haut parleurs, transmetteurs téléphoniques pour la musique, téléphonographie, télégraphone de Poulsen, téléphonie à longue distance, etc.



LISTE DES OUVRAGES

OFFERTS A LA SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ELECTRICIENS.

(Suite.)

La Bibliothèque est ouverte aux Membres de la Société, tous les jours
de 2 heures à 5 heures, excepté les dimanches et jours de fêtes,
12, rue de Staël.

France.

- Accumulateurs (Les) électriques*, par L. JUMAU. 2^e édition revue et augmentée d'un supplément. Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1907; 1 vol. grand in-8°, broché. (*Don des éditeurs.*)
- Calculs et problèmes d'électricité théorique et industrielle*, par A. TÊTREL. Paris, en vente chez l'auteur, 56, boulevard Saint-Marcel; 1 vol. grand in-8°, broché. (*Don de l'auteur.*)
- Fantasias*, par MAX DE NANSOUTY. Paris, Boivin et C^{ie}, 1907; 1 vol. in-8°, broché. (*Don de l'auteur.*)
- Formules, Tables et renseignements usuels. Aide-mémoire des Ingénieurs, des Architectes, etc.*, partie pratique par J. CLAUDEL. 11^e édition entièrement refondue sous la direction de Georges Dariès. T. II. Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1907; 1 vol. in-8°, broché. (*Don des éditeurs.*)
- Introduction à l'étude de l'électricité statique et du magnétisme*, par E. BICHAT et R. BLONDLOT. 2^e édition entièrement refondue. Paris, Gauthier-Villars, 1907; 1 vol. in-8°, broché. (*Don de l'éditeur.*)
- Manuel pratique du monteur électricien*, par J. LAFFARGUE. 10^e édition. Paris, Bernard et Tignol, 1907; 1 vol. in-8°, relié. (*Don de l'auteur.*)
- Notions élémentaires d'électricité industrielle*, par B. SÉGUIN et M. FABRE. Paris, Nancy, Berger-Levrault et C^{ie}, 1907; 1 vol. in-12, broché. (*Don des éditeurs.*)
- Nouvelles (Les) machines thermiques, moteurs rotatifs et turbines à vapeur et à gaz, turbines à gaz facilement liquéfiables*, par A. BERTHIER. Paris, H. Desforges, 1908; 1 vol. in-8°, broché. (*Don de l'éditeur.*)
- Précis d'électricité médicale*, par CH. CHARDIN. Paris, chez l'auteur et chez H. Roux, éditeur, 1907; 1 vol. in-8°, broché. (*Don de l'auteur.*)

Télégraphie (La) sans fil et les ondes électriques, par J. BOULANGER et G. FERRIÉ. 6^e édition, augmentée et mise à jour. Paris, Nancy, Berger-Levrault et C^{ie}, 1907; 1 vol. in-8°, broché. (*Don des auteurs.*)

Traité complet d'analyse chimique appliquée aux essais industriels, par J. POST et B. NEUMANN. 2^e édition française entièrement refondue, par le Dr L. GAUTIER. T. II, 1^{er} fascicule. Paris, A. Hermann, 1908, 1 vol. in-8°, broché. (*Don de l'éditeur.*)

Traité pratique d'électricité industrielle, par E. CADIAT et L. DUBOST. 7^e édition entièrement refondue et remise à jour par H. BOY DE LA TOUR. Paris, Ch. Béranger, 1907; 1 vol. grand in-8°, relié toile. (*Don de l'éditeur.*)

Turbines (Les) à vapeur et à gaz, par GIUSEPPE BELLUZZO. Traduit sur l'édition italienne, augmentée par l'auteur, par G. CIVALLERI. Paris, H. Desforges, 1907; 1 vol. grand in-8°, broché. (*Don de l'éditeur.*)

Étranger.

De berekening, de bouw en het bedrijf van het kabelnet der gemeente Amsterdam, par GÉRARD DE GELDER. 'S-Gravenhage, F.-J. Belinfante, 1907; 1 vol. in-8°, broché. (*Don de la Technische Hoogeschool de Delft.*)

Drahtlose Telephonie, von ERNST RUHMER. Berlin, chez l'auteur, 1907; 1 vol. grand in-8°, broché. (*Don de l'auteur.*)

Mathematische und mikroskopisch-anatomische Studien über Blattstellungen nebst Betrachtungen über den Schalenbau der Miliolinen, von G. VAN ITERSSEN JUN., in Delf. Iéna, Gustav Fischer, 1907; 1 vol. grand in-8°, broché. (*Don de la Technische Hoogeschool de Delft.*)



BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ INTERNATIONALE

DES

ÉLECTRICIENS.

SOMMAIRE.

Admission de Membres titulaires, p. 554. — Éloge funèbre de J. Laffargue (M. le Président), p. 554. — *Discussion* de la Communication de M. Védovelli sur l'appareillage électrique à haute et à basse tension (M. Courtois), p. 557 (M. Grosselin), p. 563. — Appareils de protection contre les conséquences des ruptures des conducteurs aériens (M. Barré), p. 565. — Application des appareils de protection aux lignes de trolley (M. Mariage), p. 585.

LA COMMISSION INTERNATIONALE DE PHOTOMÉTRIE : Dessin et description de la lampe Carcel, p. 601.

BIBLIOGRAPHIE, p. 607.

OUVRAGES OFFERTS, p. 611.

TABLE ALPHABÉTIQUE DES MATIÈRES CONTENUES DANS LE TOME VII (2^e SÉRIE), p. 613.

TABLE ALPHABÉTIQUE DES AUTEURS CITÉS DANS LE TOME VII (2^e SÉRIE), p. 617.

COMPTE RENDU

DE LA

RÉUNION ORDINAIRE MENSUELLE

du mercredi 4 décembre 1907 (1).

PRÉSIDENCE DE M. BRYLINSKI, VICE-PRÉSIDENT.

La séance est ouverte à 8^h35^m du soir.

Le procès-verbal de la dernière réunion mensuelle est adopté.

Il est donné connaissance des Ouvrages offerts pour la Biblio-

(1) La Société n'est pas solidaire des opinions émises par ses membres dans les discussions, ni responsable des Notes ou Mémoires publiés dans le *Bulletin*.

thèque de la Société (*voir* p. 611), d'un don pour le laboratoire et des demandes d'admission suivantes :

MM.

Belleville (Jacques-Alphonse), chef de station électrique, *Usine électrique de Saint-Pé-de-Bigorre*; à Saint-Pé-de-Bigorre (Hautes-Pyrénées). — Présenté par MM. Armagnat et Sabourain.

Bouette (William-Eugène), sous-directeur de la *Société anonyme Westinghouse*; 22, route de la Hève, à Sainte-Adresse (Seine-Inférieure). — Présenté par MM. Brylinski et Tainturier.

Bumsel (Henri), ingénieur diplômé de l'*École supérieure d'Électricité*; 17, rue Bleue, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Cabaret (André-Louis-Marie), ingénieur aux *Ateliers de constructions électriques du Nord et de l'Est*; à Jeumont (Nord). — Présenté par MM. Janet et Guéry.

Dubs (Hans), ingénieur, directeur du réseau de Marseille de la *Compagnie générale française de Tramways*; à Marseille (Bouches-du-Rhône). — Présenté par MM. Delon et E. Dumont.

Durand (François-Valentin-Pierre), ingénieur de la *Société centrale d'Électricité de Paris*; 40, avenue du Chemin de Fer, à Épinay (Seine). — Présenté par MM. Armagnat et Chaumat.

Fourrié (Félix), attaché à la *Compagnie des Chemins de fer du Midi*; 28, rue Nélaton, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Guillet (Léon), ingénieur conseil d'usines métallurgiques et de constructions mécaniques; 17, avenue Carnot, à Paris. — Présenté par MM. Armagnat et Le Chatelier.

Palliére (Antoine), directeur de la *Société de Construction électrique*; 67, rue Molière à Lyon (Rhône). — Présenté par MM. Delon et E. Dumont.

Royer, ingénieur principal de la Marine, sous-directeur de l'*École du Génie maritime*; 140, boulevard du Montparnasse, à Paris. — Présenté par MM. Lelong et Maugas.

Sorlin (Félix), ingénieur à la *Société française des Câbles électriques*; 52, rue Saint-Jacques, à Marseille (Bouches-du-Rhône). — Présenté par MM. Delon et E. Dumont.

Ces candidats sont élus Membres titulaires de la Société internationale des Électriciens.

M. le PRÉSIDENT. — « J'ai le pénible devoir de vous annoncer le décès d'un de nos plus sympathiques collègues, *J. Laffargue*.

» Ce deuil nous est d'autant plus cruel que *J. Laffargue*, emporté par une congestion, meurt à 43 ans, alors que tous ceux qui le connaissaient, et dont il avait su se faire des amis, étaient en droit d'espérer pour lui une longue carrière.

» Ancien disciple de notre regretté E. Hospitalier à l'École de Physique et de Chimie, d'où il était sorti le premier, *J. Laffargue* s'était créé rapidement une situation en vue. Dès 1890, il prit l'initiative de

fonder, pour la Fédération des Mécaniciens électriciens, les cours d'Électricité qu'il professa à la Mairie du IV^e arrondissement et qui eurent un succès considérable. En présence de l'utilité évidente de cet enseignement, la Ville de Paris transforma ce cours en un cours public que son fondateur continua à professer avec un inépuisable dévouement jusqu'au moment où la mort brutale vint priver ses auditeurs de leur maître si justement apprécié.

» En dehors de ses fonctions professorales, J. Laffargue fut directeur de l'Usine municipale d'Électricité des Halles, puis contrôleur des Sociétés d'Électricité de Paris, secrétaire général de la Fédération des Mécaniciens électriciens et directeur du journal *La Nature*.

» En outre de nombreux articles publiés dans la *Nature* et de sa collaboration à un important Rapport de mission sur la *Distribution de l'énergie électrique en Allemagne* en 1899, J. Laffargue avait publié le *Manuel pratique du monteur électricien*, dont le succès toujours grandissant était justement mérité.

» Par ses fonctions officielles de contrôle, J. Laffargue a été en rapports avec plusieurs d'entre nous ; tous n'ont eu qu'à se louer de son caractère vraiment bienveillant et de sa grande urbanité. Aussi suis-je assuré d'être, Messieurs, votre interprète à tous en adressant à sa famille éplorée l'expression des très vifs regrets et de la profonde sympathie de la Société internationale des Électriciens. »

L'ordre du jour appelle les Communications techniques.

DISCUSSION DE LA COMMUNICATION DE M. VÉDOVELLI
SUR L'APPAREILLAGE ÉLECTRIQUE A HAUTE ET BASSE TENSION.

M. COURTOIS. — « Je ne suis pas absolument d'accord avec notre collègue, M. Védovelli, sur certains points de détail concernant l'appareillage, du moins tels qu'il nous les a exposés dans sa très intéressante communication.

» Je vous demande donc de présenter sur ce sujet quelques brèves réflexions. Je suivrai l'ordre même de la description de M. Védovelli dans cette petite controverse.

» En ce qui concerne les interrupteurs dits *basse tension*, vous estimez qu'il faut proscrire tout appareil qui *chauffe*, et vous souhaitez que l'exploitant fixe au constructeur une condition d'élévation de température maxima de n degrés, par exemple, au-dessus de l'ambiante.

» Je crois qu'il y a accord unanime pour estimer qu'un appareil qui, placé dans les conditions de fonctionnement normal pour lesquelles il a été prévu, *chauffe*, est un mauvais appareil ; mais laissez-moi vous dire que, dans ce cas particulier, l'introduction dans un marché ou dans une commande d'une clause de température limite serait la source de difficultés souvent insolubles :

» 1° Parce qu'il serait difficile de se mettre d'accord sur cette limite de température. Serait-ce en valeur absolue, 40°, 50° ou 60°C., ou plus ou moins ?

» Il faudrait sans doute faire intervenir le calibrage de l'appareil, cette limite de température devant être reculée quand la valeur de l'intensité de régime augmente, puisque l'énergie dissipée dans l'appareil varie comme le carré de l'intensité, et que les difficultés d'établissement d'un bon contact augmentent avec l'importance masique de ce contact.

» 2° Parce que, serait-on d'accord sur le chiffre limite de température à admettre, la mesure de cette température serait très précaire dans la plupart des cas et presque impossible dans d'autres, du moins avec quelque rigueur scientifique.

» Si donc on convient d'établir un criterium du bon contact,

c'est, d'après moi, par la mesure de la chute de tension entre deux points du circuit comprenant ce contact qu'on peut le fixer, et nous savons tous que, si cette chute de tension mesurée dans ces conditions est $\leq \frac{1}{100}$ de volt, le contact est bon. Si elle atteint $\frac{2}{100}$ de volt, le contact est médiocre. Si elle est $\geq \frac{5}{100}$ de volt, le contact est franchement mauvais.

» Vous avez été sévère pour les coupe-circuits; je n'essaierai pas de les réhabiliter complètement, il me suffit de rappeler qu'ils ont tout un passé de bons (sinon irréprochables) services.

» Évidemment, ils sont capricieux, surtout si l'on n'est pas très sévère dans leur détermination; mais vous conviendrez qu'il est difficile de se passer de cet appareil économique, au moins dans les installations domestiques.

» D'ailleurs rien n'est plus simple que de fixer les conditions de fonctionnement d'un fusible. Il suffit d'indiquer que c'est sous tel régime, et après tant de secondes, que la fusion doit s'opérer: c'est ainsi, notamment, que procède la Marine. Cela conduit à l'établissement d'une courbe de fonctionnement analogue à celle que vous nous avez présentée, pour chaque type de coupe-circuit; mais il n'y a rien là de très complexe.

» Quant à soustraire ce coupe-circuit aux actions extérieures, et empêcher les projections de métal, rien n'est plus simple: il suffit de placer le fusible dans un tube fermé en matière isolante, de volume et de longueur appropriés, et d'établir l'étalonnage dans ces conditions, ou encore de l'abriter sous un capot de mica par exemple, analogue à ceux que nous employons nous-mêmes.

» Sur les installations à haute tension même, les coupe-circuits rendent encore d'appréciables services, à la condition toutefois que leur longueur soit suffisante, que le métal employé comme fusible ait un volume très réduit par rapport à la gaine d'air qui l'entoure, et qu'on ait soin d'interposer une matière formant efficacement matelas amortisseur entre le fusible et la poignée de porcelaine, au moment de la fusion.

» Pour des circuits dont la puissance était de 1000 kilowatts, nous avons nous-mêmes établi des coupe-circuits haute tension dont les exploitants se sont déclarés pleinement satisfaits.

» En ce qui concerne les disjoncteurs, je partage vos idées.

» Cette catégorie d'appareils est une des plus intéressantes, et il faut souhaiter de voir leur emploi se généraliser de plus en plus. Il me semble toutefois que vous n'avez pas assez mis en lumière le point suivant :

» Il importe peu, à mon sens, que le système électromagnétique soit constitué par un bobinage dans lequel interviennent des flux (série et dérivation) additifs ou soustractifs; la grosse question est d'avoir un appareil dans lequel la constante de temps électromagnétique et mécanique de fonctionnement soit extrêmement faible.

» Il est intéressant, par exemple dans l'appareil à enclenchement empêché, avant même que les balais principaux soient en contact et puissent être endommagés par un arc, que le déclenchement automatique s'opère.

» C'est sur ce point que nous avons porté notre attention, et je crois pour ma part que la bobine directe est, pour obtenir ce résultat, supérieure à la bobine shuntée, dont le courant, dans la période variable, tant à cause du shunt que de la self-induction propre de la bobine, subit un retard, en temps et en grandeur, très appréciable.

» Les interrupteurs à haute tension dans l'huile jouissent en effet, à l'heure actuelle, d'une très grande faveur, faveur très méritée, à mon sens, car, dans la plupart des cas, ce sont eux qui réalisent le mieux la coupure du circuit, en dépit des surtensions dues aux causes multiples et diverses nées des conditions d'établissement et d'exploitation même du réseau.

» Toutefois, c'est précisément à la marge très large dans le fonctionnement que laissent les appareils du genre de celui que vous nous avez décrit qu'est due cette préférence.

» En effet, toutes choses égales, et à condition que l'isolement au point de vue conducteur et disruptif des porcelaines soit suffisant, à condition aussi que le volume d'huile soit largement prévu, la distance de coupure est toujours, et le plus souvent par raison de construction même, très supérieure à celle que nécessiteraient les constantes normales de fonctionnement de l'appareil.

» Vous savez que cette distance de coupure dans l'huile varie entre $\frac{1}{7}$ et $\frac{1}{10}$ de la distance de coupure dans l'air au même régime.

» Avec la double coupure par pôle, réalisée dans des appareils tels que ceux dont vous nous avez parlé, on a pratiquement toujours des distances supérieures à ces limites.

» Je crois que c'est surtout sur le profil et la qualité des porcelaines que l'attention des constructeurs doit se porter pour réaliser ce que vous souhaitez, c'est-à-dire une limite très large, quant à l'essai d'isolement sous tension. La ligne de fuite des porcelaines développée rectilignement doit être environ le $\frac{1}{5}$ de la distance de coupure dans l'air : c'est dire qu'elle est de beaucoup plus grande que la distance d'éclatement d'un arc dans l'air sec, sous la tension de distribution.

» L'étude de la coupe d'une porcelaine doit être établie de façon à permettre la vitrification, à cœur, de la matière ; et, à mon avis, il est sage de ne pas compter sur l'émaillage pour augmenter la valeur isolante d'une telle pièce, puisque cet émail présente forcément, à cause des nécessités de la fabrication, des solutions de continuité qui seraient, dans l'hypothèse contraire, autant de points faibles.

» Si je ne craignais pas de forcer la note, je serais tenté de dire :

» Un appareil pour haute tension, toutes choses étant égales, vaut surtout par la qualité des porcelaines employées dans sa construction.

» En ce qui concerne les disjoncteurs à haute tension, je me contenterai de faire une remarque :

» J'estime que s'il est intéressant d'avoir dans certaines applications un appareil *temporisé* ou *retardé*, pour reprendre vos expressions mêmes, il ne faut pas compliquer, sans grand profit, la construction d'un semblable appareil qui, avant tout, doit être robuste et sûr.

» Dans les appareils que nous avons étudiés, nous avons obtenu à volonté l'un ou l'autre effet, et dans des conditions pratiquement très satisfaisantes, en nous laissant un procédé de réglage sur la course du piston de la cataracte et en faisant travailler le circuit magnétique de la bobine à une induction voisine de la saturation.

» A une variation importante du nombre d'ampères-tours magnétisants ne correspond plus dans ces conditions qu'une variation faible de la force d'attraction du noyau de déclenchement.

» Je ne partage pas absolument votre avis sur le rôle du marbre dans les tableaux de distribution; je crois que sa suppression totale n'est pas aussi indiquée que vous le dites.

» Je laisse de côté la partie esthétique, c'est là affaire d'appréciation; mais il est indéniable, à mon sens, que si on laisse au marbre son rôle vrai, celui de support et d'écran commode, soit pour fixer les appareils de lecture ou de signalisation, soit pour masquer des parties d'organes peu agréables à l'œil, on peut utilement l'employer.

» Notez d'ailleurs que, pour la haute tension, bien rares sont les cas où l'on se sert du marbre comme isolant, si ce n'est comme isolant au *second degré*, si je puis dire.

» Enfin si, comme vous, je souhaite qu'on laisse au constructeur toute la place désirable pour pouvoir établir rationnellement les appareils haute tension, leurs commandes, leurs accessoires et les divers circuits, j'espère que les prescriptions récentes du décret de M. le Ministre du Travail de juillet 1907 nous permettront de réaliser pleinement ce vœu dans l'avenir.

» Les limiteurs de tension et les parafoudres de ligne, tels que vous les concevez, sont des plus intéressants.

» Le grand nombre relatif, variable avec la surtension probable, des pièces métalliques séparées par une couche d'air, employées dans les limiteurs de tension, est une condition même du bon fonctionnement de ces appareils; il y a là toute une série de pièces métalliques qui jouent le rôle d'armatures de condensateurs; on se rapproche d'autant mieux du phénomène de décharge statique que le nombre des éléments est plus considérable. Il faut en outre, par l'état des surfaces métalliques, préparer le plus de mobilité, d'instabilité possible à l'arc.

» Votre expérience, réalisée en augmentant progressivement la tension du circuit, nous a précisément montré l'amorçage graduel, et de proche en proche, des petits arcs élémentaires.

» Cela indique nettement, à mon avis, le rôle que la capacité joue dans ces phénomènes.

» Etant donnés précisément la sensibilité et le réglage possible qu'on peut obtenir dans des conditions nettement définies pour des appareils de cette catégorie, je suis moins préoccupé que vous de

la distance à établir entre les armatures d'un parafoudre de pleine ligne.

» En effet, si j'admets que cette ligne est, entre conducteur et terre et entre phases, munie de limiteurs de tension convenablement réglés (et je n'hésite pas pour ma part à en conseiller l'emploi en nombre suffisant partout où ils sont visitables, abrités et entretenus), le parafoudre de pleine ligne pourra et devra être réglé assez largement. Son rôle est alors de laisser se perdre à la terre les charges induites considérables que prendra la ligne chaque fois qu'elle se trouvera dans un champ de force créé par une manifestation électrique atmosphérique violente, se produisant dans son voisinage.

» L'ordre de grandeur et l'importance du phénomène, tant au point de vue différence de potentiel qu'au point de vue quantité d'électricité, sont tout autres que pour les surtensions, et dans certaines limites, bien entendu, entre 8^{mm}, 30^{mm} et même 50^{mm} par exemple, le parafoudre de ligne à armatures et à lames d'air fonctionne à coup sûr. Le point important, c'est qu'il soit toujours prêt à fonctionner, plusieurs fois de suite si c'est nécessaire, robuste, toujours identique à lui-même, ne nécessitant que peu d'entretien, et que l'arc allumé à la décharge ne puisse être maintenu par la tension propre normale de la ligne.

» Je me résumerai en disant : *Le limiteur complète le parafoudre, mais ils ont des rôles complètement différents; leurs conditions d'établissement répondent à des préoccupations également différentes.*

» Enfin, pour terminer, permettez-moi de vous donner à mon tour mon avis sur le phénomène d'extinction de l'arc dans l'appareil à cornes.

» Je crois qu'il est incontestable que le courant d'air chaud provoque ce soufflage de l'arc, mais je crois aussi que l'action électrique entre en jeu.

» L'arc est une portion du circuit qui crée un champ; ce champ ne peut pas être sans action sur le courant qui l'engendre et qu'il entoure du tourbillon de ses tubes de force.

» Il est évidemment très puissant et varie avec la pulsation; c'est pourquoi j'estime qu'il est précisément une des causes de l'instabilité dans l'espace de cet arc et qu'il favorise ainsi son déplacement;

quand, dans votre expérience, vous placiez deux cercles métalliques dans un même plan horizontal, l'arc allumé entre eux ne restait pas à la distance la plus courte, sur la ligne des centres de ces cercles.

» Il se déplaçait et se présentait obliquement par rapport à cette ligne, d'un côté ou de l'autre de cette ligne d'ailleurs.

» J'interprète ce déplacement à l'appui de ma thèse, sans attacher plus d'importance qu'il ne convient à cette théorie : le fait subsiste, l'arc se déplace et se rompt de lui-même dans de semblables appareils, et c'est une propriété certainement très précieuse et que nous sommes tous heureux d'utiliser. »

M. GROSSELIN. — « Je suis tout à fait d'accord avec M. Védovelli sur l'efficacité des limiteurs de tension à intervalles multiples pour la protection des isolants d'une installation.

» Je crois toutefois que, pour supprimer les dangers inhérents à toute production d'arc, il faut viser, non pas seulement à éteindre rapidement l'arc formé, mais à empêcher sa formation. Un limiteur bien établi ne devrait donc, à mon avis, laisser passer que des étincelles statiques de haute tension et de très basse intensité, suffisant à écouler l'énergie, toujours faible, des surtensions accidentelles.

» Il serait intéressant de chercher expérimentalement quel rôle exact joue la résistance placée en série sur le limiteur.

» Cette résistance modifie-t-elle la tension de jaillissement des étincelles statiques ? empêche-t-elle leur transformation en arc à une tension donnée ou fonctionne-t-elle simplement comme dispositif de sécurité pour le limiteur en réduisant l'intensité de l'arc une fois formé ?

» Si l'une des deux dernières hypothèses est exacte, ne vaudrait-il pas mieux supprimer la résistance et augmenter le nombre des cylindres ou leur écartement ?

» Quant au nombre de cylindres à adopter pour un écartement et une tension donnés, il résulterait, d'expériences récentes faites en Amérique, qu'il n'y a aucun intérêt à l'augmenter au delà d'un certain chiffre.

» La capacité des cylindres par rapport à la terre détermine, sui-

vant leur position sur le limiteur, une répartition du potentiel dont la courbe figurative est de forme exponentielle, asymptote à l'arc des ordonnées où sont portés les potentiels et à celui des abscisses où sont portées les largeurs d'intervalles d'éclatement.

» Il en résulte que la différence de potentiel est maxima entre les deux cylindres les plus voisins de la ligne et décroît de moins en moins vite vers les cylindres reliés à la terre.

» C'est ce qui explique que, au delà d'une certaine valeur de la tension appliquée au limiteur, et pour une valeur donnée d'écartement, une étincelle jaillit entre les premiers cylindres, de plus en plus nourrie à mesure que la tension s'élève, et, d'autre part, que l'addition d'intervalles d'éclatement, au delà d'un certain chiffre, n'influe en rien sur le fonctionnement.

» Si cette propriété était vérifiée, il deviendrait possible de réduire le nombre des cylindres et l'encombrement de l'appareil.

» J'ajouterai que les limiteurs exigent, comme tout autre appareil, de la surveillance et de l'entretien. Il ne serait peut-être pas prudent de trop se fier à leur fonctionnement pour assurer l'exploitation tranquille des installations.

» Je suis donc d'avis de conserver jusqu'à nouvel ordre, pour l'isolement général des réseaux, le coefficient de sécurité du triple dont la pratique des Stations centrales a montré la nécessité. »

M. le PRÉSIDENT remercie MM. Courtois et Grosselin des observations qu'ils ont présentées et M. Vedovelli, des compléments d'information qu'il a bien voulu fournir.

**APPAREILS DE PROTECTION CONTRE LES CONSÉQUENCES DES RUPTURES
DES CONDUCTEURS AÉRIENS.**

M. BARRÉ. — « Depuis la mise en usage des lignes électriques aériennes chargées d'énergie à des tensions dangereuses, la préoccupation des professionnels a été d'éviter les accidents qui peuvent être provoqués par la rupture d'un conducteur en service. Malgré toutes les précautions prises, des incidents sont survenus; les pouvoirs publics ont, dans certaines régions, réglementé les précautions qu'il y avait lieu de prendre, dans le but d'améliorer la construction des lignes aériennes avec maxima de sécurité.

» Un résultat semblable acquis, l'établissement des lignes électriques aériennes deviendrait alors le cas général des installations, les frais coûteux de premier établissement des canalisations souterraines seraient alors l'exception.

» Un grand nombre d'appareils destinés à obvier à ces inconvénients ont été imaginés, la place et le temps nous manquent ici pour leur donner toute la description qui convient; néanmoins, nous décrirons, parmi ces appareils, un certain nombre d'entre eux pour lesquels des applications ont été effectuées, ou des dispositions sur le principe desquelles il est utile d'insister.

» Avant d'entamer la description de ces appareils, nous pensons qu'il est bon de rappeler les causes qui provoquent généralement la rupture des conducteurs et par conséquent leur chute.

» Nous indiquerons pour les conducteurs n'ayant pas à supporter l'action mécanique d'une prise de courant, les causes suivantes :

» 1^o Lorsque les portées admises entre supports sont supérieures à celles qui correspondent à une flèche donnée, il résulte de cet excès une tension qui n'est quelquefois plus en rapport avec le coefficient de sécurité du métal;

» 2^o Dans certaines régions, il est rigoureusement nécessaire de tenir compte des efforts du vent, facteur qui augmente notablement le travail mécanique du conducteur;

» 3° La **surcharge** de glace ou de neige peut atteindre quelquefois le quart du poids du **conducteur**;

» 4° Les variations de **température** agissent sur les conducteurs, en provoquant leur contraction si la température s'abaisse ou leur allongement si la température s'élève. Il résulte du fait de la contraction une augmentation de tension qui peut amener la rupture du conducteur, si la flèche initiale admise n'était pas suffisante;

» 5° Il y a lieu de tenir compte de la résistance mécanique des jonctions; en admettant normalement 10 pour 100 de diminution pour le travail du conducteur, on reste dans les limites convenables;

» 6° Étant donnés les différents facteurs énoncés ci-dessus, nous pensons qu'il est utile qu'en aucune circonstance les efforts mécaniques que doivent supporter les conducteurs puissent être supérieurs à la limite d'élasticité du métal qui, généralement, est le quart de la charge de rupture;

» 7° Lorsqu'on emploie des supports en bois, il y a lieu de tenir compte de la nature du terrain dans lequel ils sont implantés, le remplacement de ceux-ci devant être effectué avant que la vermoulure ait accompli la destruction. L'emploi de poteaux en ciment armé, de construction métallique ou mixte, modifie convenablement l'usage.

» Pour les conducteurs soumis à l'action mécanique d'une prise de courant, il y a lieu d'envisager, en plus des facteurs énoncés ci-dessus, ceux résultant des causes suivantes :

» 1° Lorsqu'une ligne est tendue à sa position normale, il est nécessaire de procéder à sa fixation; or, généralement, on omet de limiter l'échauffement du métal du conducteur lorsqu'on soude les oreilles de suspension. Il résulte un allongement du métal provoqué par la tension du conducteur et, par conséquent, une diminution de section à ces endroits. En supprimant la tension de la partie du conducteur qui doit être soudé, à l'aide d'outillage approprié, on évite cet inconvénient.

» 2° Sur des lignes à trolley, on a constaté, à certaines parties en courbe avec désaxement prononcé, après quatre années de service intensif, une usure réduisant de 30 pour 100 la section primi-

tivè du conducteur. Pour éviter ces inconvénients, nous recommandons d'utiliser des organes de prise de courant munis de contacts en matière moins ductile que le conducteur.

» 3° Au droit des suspensions des fils de trolley, ces points sont soumis à des efforts mécaniques, provoquant la désagrégation moléculaire du métal, par suite des chocs répétés au passage de la roulette ou de l'archet. Sous l'action des causes ci-dessus, l'usure aidant, la striction du conducteur survient et, par suite, la rupture.

» Nous pensons que si les conducteurs étaient suspendus d'une manière plus élastique, les inconvénients ci-dessus seraient atténués.

» Si l'on tient compte de tous les facteurs envisagés, on peut, par les calculs, déterminer les conditions les plus favorables pour l'établissement des lignes aériennes.

» Les appareils ou dispositifs qui vont être décrits peuvent se classer en plusieurs catégories énumérées aux Chapitres suivants :

» CHAPITRE I. — Ceux qui, par rupture du conducteur, provoquent le sectionnement de celui-ci, les brins rompus n'étant plus chargés d'énergie.

» CHAPITRE II. — Ceux qui, par court-circuit, provoquent la disjonction à la station.

» CHAPITRE III. — Ceux qui manœuvrent mécaniquement un interrupteur.

» CHAPITRE IV. — Ceux qui mettent hors circuit la ligne à l'aide d'une dérivation actionnant des interrupteurs automatiques.

» CHAPITRE V. — Ceux qui mettent hors circuit la ligne à l'aide d'interrupteurs automatiques actionnés par un courant à fréquence élevée en circulation sur les conducteurs.

» CHAPITRE VI. — Ceux qui permettent une suspension multiple constituée à l'aide d'une chainette placée dans un plan supérieur au conducteur.

» CHAPITRE VII. — Ceux qui suppriment automatiquement le courant à l'aide de disjoncteurs appropriés placés à la station ou aux sectionnements des lignes.

» CHAPITRE VIII. — Ceux qui suppriment automatiquement le courant lorsqu'une ligne télégraphique ou téléphonique vient en contact avec un fil de trolley.

CHAPITRE I.

» Les appareils de ce Chapitre sont basés sur les principes suivants :

» 1° Faire osciller, autour d'un axe isolé, un levier, d'une part en contact avec une source d'énergie et, d'autre part, connecté au conducteur ; lorsque la rupture du conducteur survient, le poids du brin rompu doit entraîner le levier et, par conséquent, intercepter le passage du courant.

» Les figures 1, 2, 3 et 4 se rapportent au système Millet.

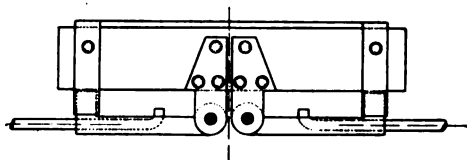


Fig. 1.



Fig. 2.

» Des essais effectués sur un appareil de démonstration, par les Services de l'éclairage de la Ville de Paris (Secteur des Halles), il

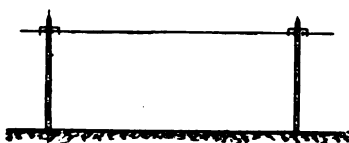


Fig. 3.

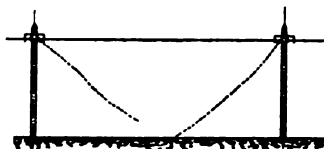


Fig. 4.

résulte que sous réserve de quelques améliorations, le fonctionnement pourrait être normal.

» Les figures 5, 6 et 7 se rapportent au système Antiga; nous

n'en connaissons pas d'application; ce système ne diffère du précédent que par une forme un peu plus élégante.

» 2° Faire osciller autour d'un axe une boîte en matière iso-

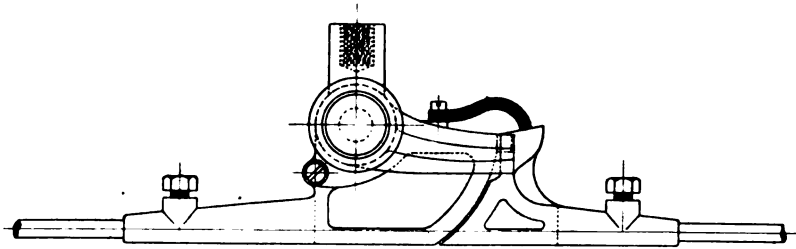


Fig. 5.

lante, dans laquelle est ménagée une cuvette à mercure où viennent plonger les extrémités des conducteurs contigus; lorsque la rupture

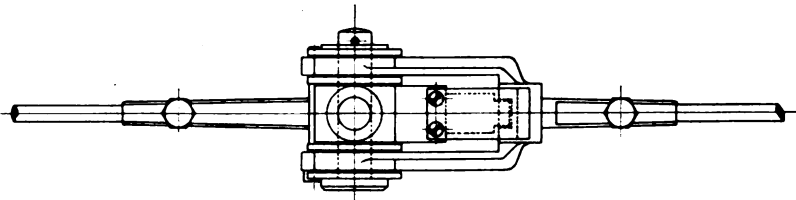


Fig. 6.

du conducteur survient, le brin rompu, par son poids, et la tension du conducteur voisin font osciller la boîte, dégageant l'un des con-

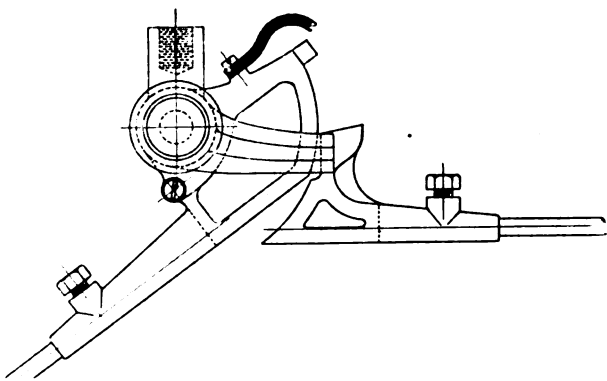


Fig. 7.

ducteurs du contact par le mercure, interceptant ainsi le passage du courant dans le brin rompu.

» Les figures 8, 9 et 10 se rapportent au système Bellangé; nous

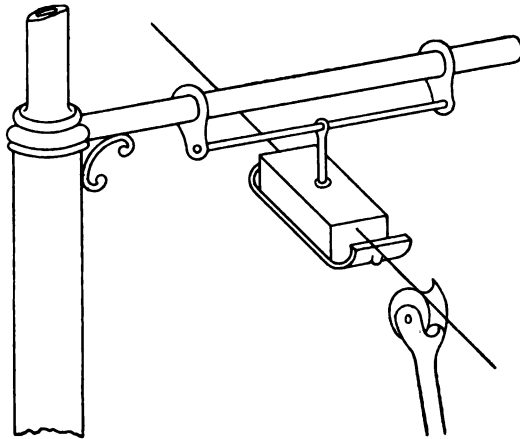


Fig. 8.

n'en connaissons pas d'applications.

» Les appareils décrits ci-dessus ne nous semblent pas être d'un

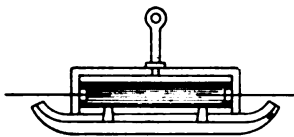


Fig. 9.

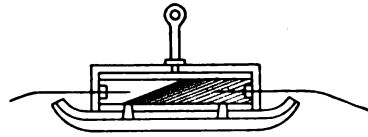


Fig. 10.

emploi facile, à cause des nombreuses solutions de continuité qu'ils comportent; de plus, le réglage doit être laborieux, condition importante pour des appareils placés aux endroits où les déformations sont permanentes.

CHAPITRE II.

» Les appareils de ce Chapitre sont basés sur les principes suivants :

» Utiliser la réaction mécanique horizontale qui se produit au moment de la rupture du conducteur et provoquer un mouvement mécanique établissant par contact le court-circuit.

» La figure 11 représente un système *Siemens* : le support du conducteur est constitué par un levier isolé pivotant autour d'un axe. Lorsque le conducteur vient à se rompre, il entraîne le levier qui

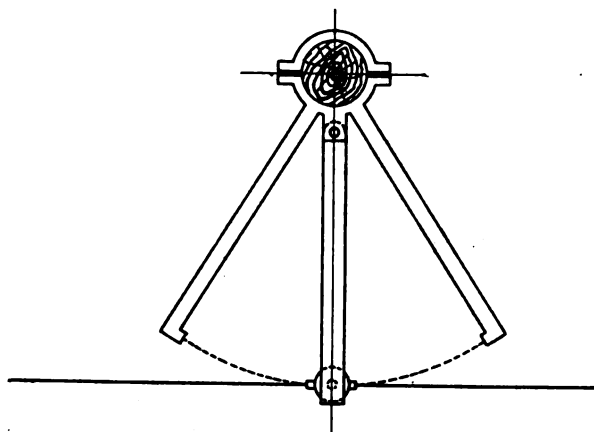


Fig. 11.

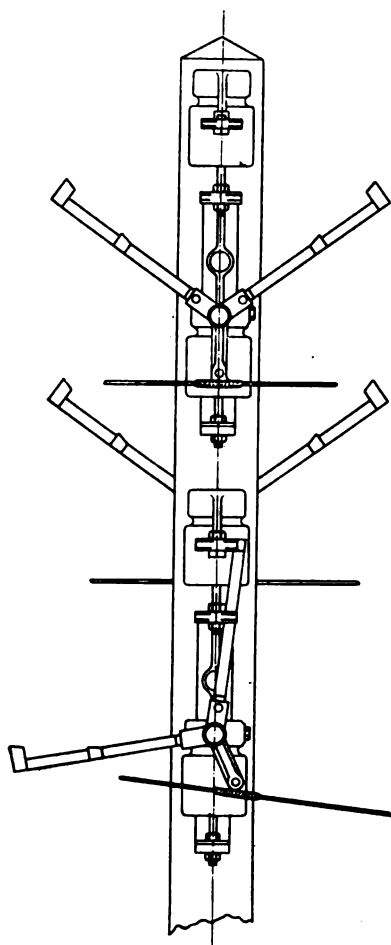


Fig. 12.

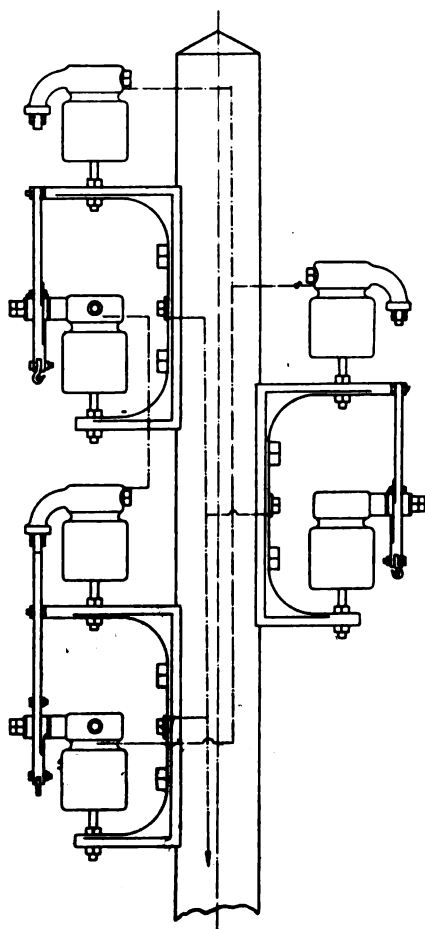


Fig. 13.

vient rencontrer une butée reliée au négatif, constituant ainsi le court-circuit et mettant en action les disjoncteurs de l'usine. Nous ne connaissons pas d'applications ayant été effectuées avec ce système, mais sa simplicité méritait d'être signalée.

» Les figures 12 et 13 représentent un système de la Société Électrotechnique de Munich. De nombreuses applications ont été particulièrement effectuées en Allemagne.

» Les figures 14, 15 et 16 représentent un système Giraud, con-

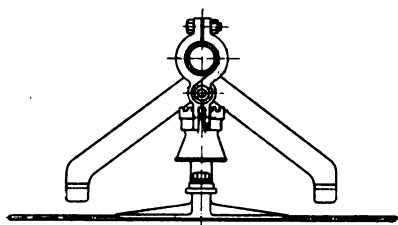


Fig. 14.

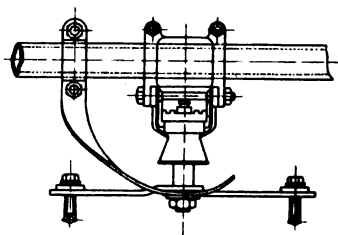


Fig. 15.

struit spécialement pour les lignes à trolley. Quelques essais ont

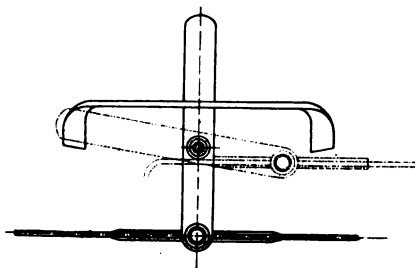


Fig. 16.

été effectués; la disjonction à la station était convenablement obtenue.

» Les figures 17, 18 et 19, un même système que le précédent,

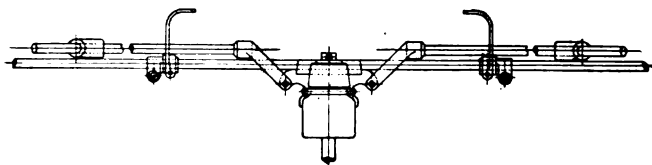


Fig. 17.

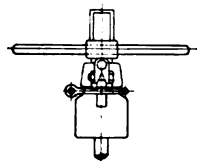


Fig. 18.

construit spécialement pour les lignes à haute tension. La Société

Le Triphasé a en service, sur une partie de ses lignes aériennes à haute tension, des appareils de ce type ; depuis de nombreuses

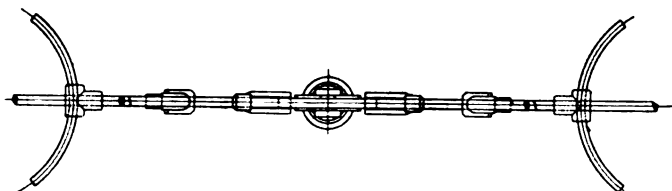


Fig. 19.

années ceux-ci lui donnent satisfaction.

» Les figures 20 et 21 représentent un système *Hancock* du même

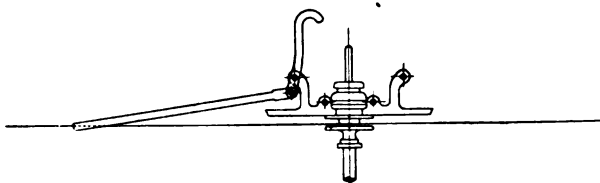


Fig. 20.

principe que les précédents, nous n'en connaissons pas les applica-

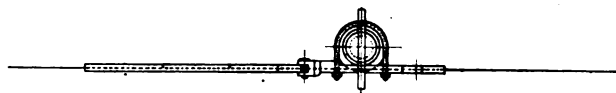


Fig. 21.

tions ; le système représenté peut s'appliquer sur une ligne à trolley supportée par des fils transversaux.

» Les figures 22 et 23 représentent un des systèmes *Siemens* qui ont été utilisés sur les lignes aériennes de Murnau à Oberammergau.

» Les figures 24, 25 et 26 représentent un système de construction très simple, permettant d'utiliser les principes ci-dessus, ou l'action de la pesanteur provoquée par la chute du conducteur.

» La figure 27 représente un système *Hill* peu compliqué, et se rapporte à une ligne à trolley. Dans un plan supérieur au conducteur, on place un fil métallique capable de supporter le poids du conducteur lors de la rupture. Les deux fils de trolley sont reliés

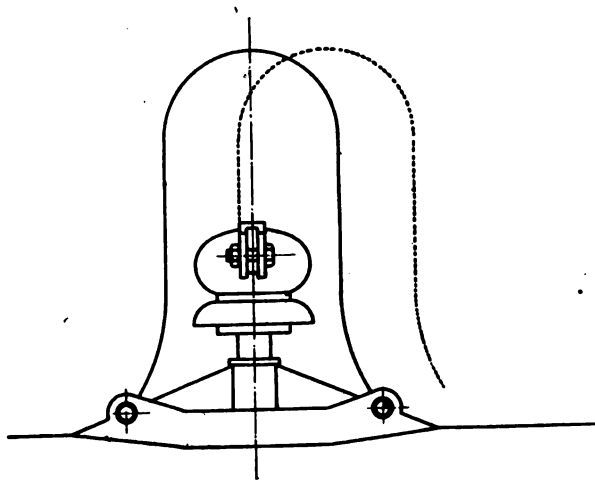


Fig. 22.

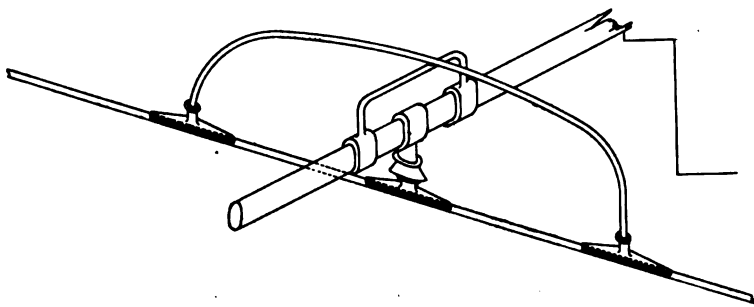


Fig. 23.

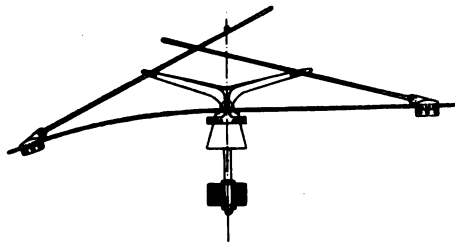


Fig. 24.

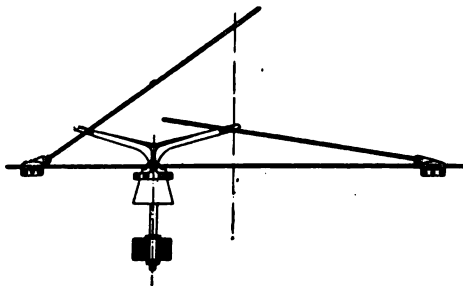


Fig. 25.

par une boucle dans laquelle passe le fil métallique. Lorsque la

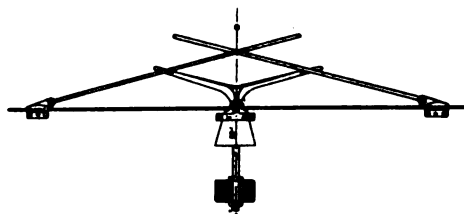


Fig. 26.

rupture du conducteur survient, la boucle vient établir le court-

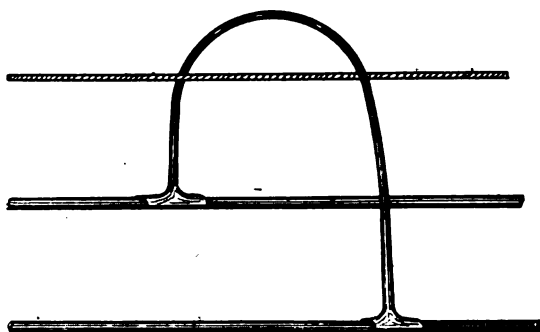


Fig. 27.

circuit. Nous ne connaissons pas d'installations utilisant ce système.

CHAPITRE III.

» La plupart des appareils qui pourraient figurer à ce Chapitre

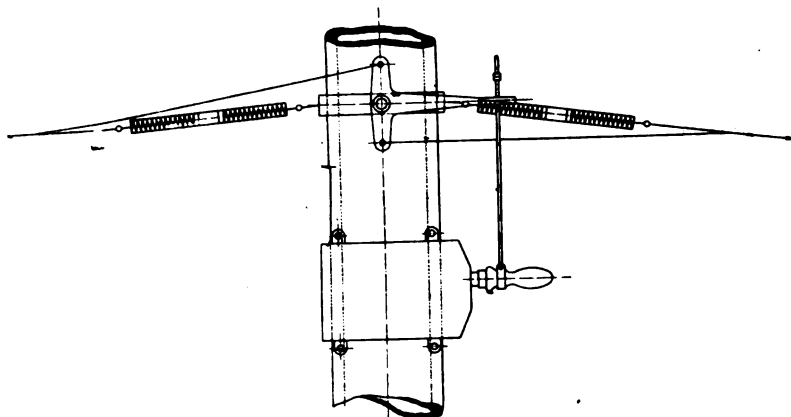


Fig. 28.

utilisent le même principe mécanique que celui décrit. Vu la complication de la plupart d'entre eux, nous n'indiquerons que le système de la Société *Union électrique de Berlin*, représenté par les figures 28 et 29. Ce système est prévu pour une ligne à trolley sur transver-

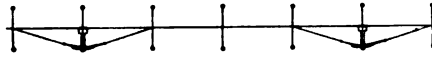


Fig. 29.

saux. A l'aide de tendeurs compensés par un jeu de ressorts, le fonctionnement d'un interrupteur est assuré au moment de la rupture d'un conducteur. Nous ne connaissons pas d'application de ce système.

CHAPITRE IV.

» La plupart des systèmes décrits dans ce Chapitre ont été essayés, les résultats obtenus laissent à penser qu'ils sont susceptibles de perfectionnement.

» Le système *Barber Ulmann* est représenté par les figures 30 et 31.

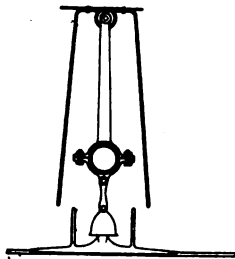


Fig. 30.

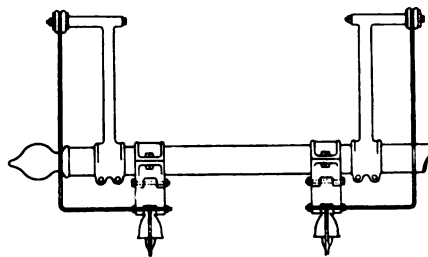


Fig. 31.

Le fonctionnement s'obtient de la façon suivante : sous l'action de la tension du conducteur non rompu, la suspension du conducteur oscille autour d'un axe et vient se mettre en contact avec des organes reliés à un interrupteur automatique. Nous ne connaissons pas les applications de ce système.

» La figure 32 représente l'ensemble d'un système mis en service par la *Compagnie Thomson-Houston*. En position normale, l'arc qui ancre le fil comprime un ressort placé dans une boîte; tant que la tension mécanique existe sur les conducteurs, l'espace compris

entre l'appareil et le contact en communication avec l'interrupteur automatique est convenable. Dès que le fil de trolley vient à se

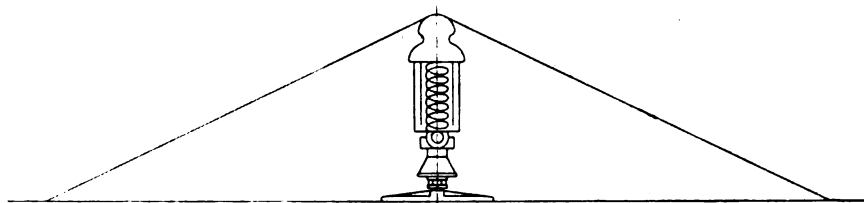


Fig. 32.

rompre, sous l'action du ressort qui se détend, l'arc se déplace verticalement et vient assurer le contact nécessaire au fonctionnement des interrupteurs automatiques.

» Les figures 33 et 34 représentent un système essayé par la

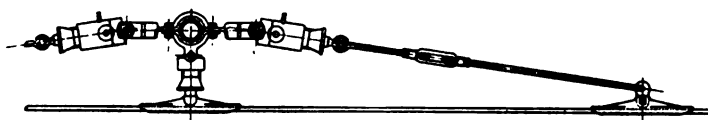


Fig. 33.

Compagnie des Tramways de Paris et du département de la Seine. Tant que la tension mécanique existe sur les conducteurs, le système est au repos; mais, dès qu'un fil de trolley vient à se rompre, le contact s'établit avec un charbon placé à l'intérieur de l'appareil

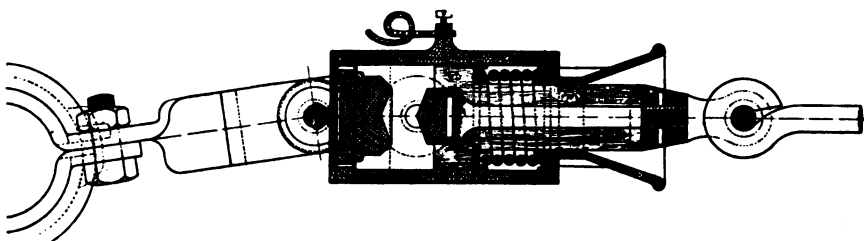


Fig. 34.

et met en fonctionnement les interrupteurs à l'aide d'un conducteur auxiliaire connecté à l'appareil.

» La Société d'Électricité de Paris a mis en service d'essai sur une ligne à trolley des appareils à pivots, plus connus sous le nom de système *Carré*, d'un fonctionnement analogue à ceux déjà décrits;

les figures 35 et 36 montrent schématiquement leur fonctionnement.

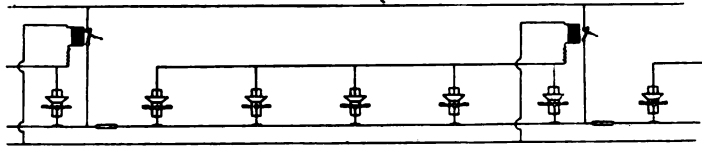


Fig. 35.

» Tous les appareils décrits dans ce Chapitre sont réalisables lorsque les installations sont à faire ; mais, lorsqu'il s'agit d'équiper

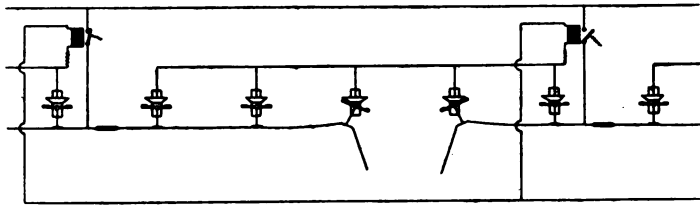


Fig. 36.

une ligne en exploitation, il est nécessaire de mettre au rebut la majeure partie des organes qui constituent l'équipement.

» Le système *Letroteur* remplit ce but, et permet d'utiliser le

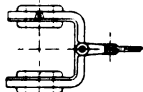


Fig. 37.

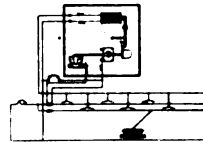


Fig. 38.

matériel existant même pour les lignes équipées avec suspension

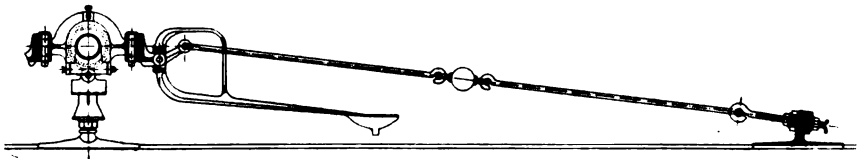


Fig. 39.

rigide. Les figures 37, 38 et 39 montrent l'ensemble d'un appareil avec dispositif pour intercepter le courant lorsqu'un fil de trolley vient à se rompre. La construction de ces appareils a été prévue

suivant plusieurs variantes permettant leur usage en courbe ou sur les transversaux. Une ligne aérienne de la Compagnie des Tramways de Paris et du département de la Seine a été équipée avec ces appareils. On a eu l'occasion de se rendre compte de l'efficacité du fonctionnement à la suite de la rupture d'un fil de trolley.

» Malgré les avantages signalés sur tous les appareils de ce Chapitre, il arrive que, par suite du fonctionnement intempestif de l'interrupteur automatique pouvant être provoqué par le dérangement d'un appareil, pour une raison quelconque, le service d'une exploitation souffre des interruptions de service aussi inopinées.

» Ces dérangements peuvent survenir par suite d'un choc avec la tête de trolley, de la rupture d'un organe de suspension, ou du contact simultané de la perche avec le fil de trolley et les organes communiquant avec l'interrupteur automatique. De plus, pour certains appareils, les ressorts peuvent être brisés, le fonctionnement utile n'est plus assuré et, pour la vérification de ces organes, on est conduit à un examen laborieux.

» En toute circonstance, il faut tenir compte que les fils auxiliaires peuvent être rompus par les chocs avec les perches de trolley ou pour toute autre cause. Dans ces cas, les appareils de sécurité ne sont plus efficaces.

CHAPITRE V.

» Les inconvénients que présentent tous les appareils mécaniques

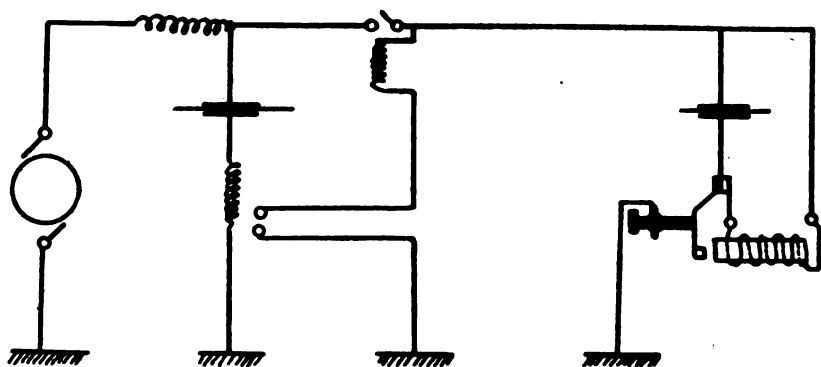


Fig. 40.

semblent avoir été évités par le système *Neu*, représenté schématiquement.

quement par la figure 40. L'ensemble du système comporte une source de courant à fréquence élevée; l'un des pôles est connecté au conducteur à protéger et l'autre à la terre. Les connexions peuvent être faites soit directement, soit en intercalant des condensateurs. A l'origine de la ligne est placé un appareil récepteur qui met en action l'interrupteur de la partie à protéger lorsqu'il y a interruption du passage du courant alternatif, c'est-à-dire lorsque le conducteur vient à se rompre.

» Un certain nombre d'installations ont été effectuées avec ce système et semblent donner satisfaction aux usines à haute tension qui en sont pourvues. Nous ne connaissons pas d'installations réalisées pour les lignes à trolley.

» La place nous manque ici pour donner une description complète de cet intéressant système.

CHAPITRE VI.

» Nous ne nous étendons pas sur ce Chapitre; MM. Mazen et de Valbreuze nous ont montré, lors de leurs intéressantes conférences,

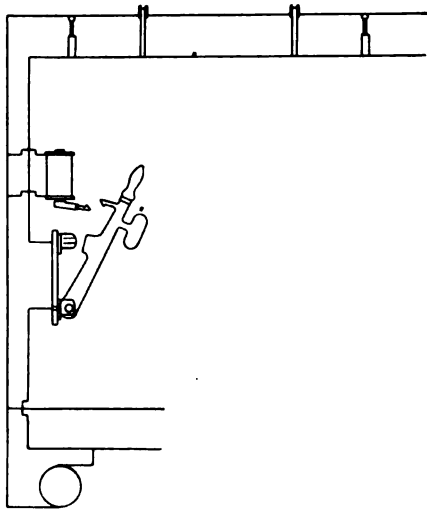


Fig. 41.

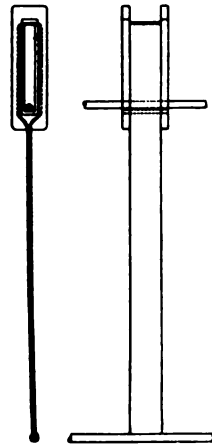


Fig. 42.

une quantité d'applications faites en Amérique et en Allemagne où les rigueurs de l'esthétique font place à la question pratique.

» Les figures 41 et 42 représentent l'ensemble et les détails du

système *Heyes* qui possède l'avantage de pouvoir interrompre automatiquement le courant, lors de la rupture d'un conducteur, et cela de la même manière que pour les appareils mentionnés au Chapitre IV.

CHAPITRE VII.

» De tous les systèmes préconisés spécialement pour les lignes à trolley, nous pensons que le dispositif représenté par la figure 43

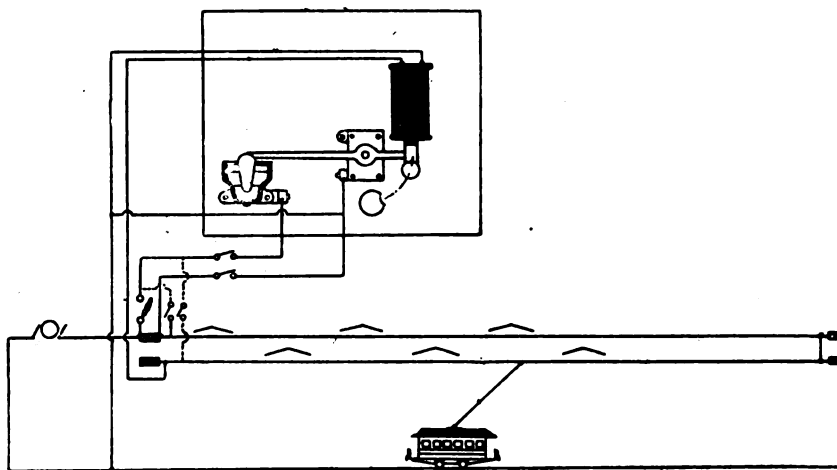


Fig. 43.

répond le mieux à la protection des lignes à trolley. En effet, une ligne quelconque peut être efficacement protégée de la manière suivante : à la source d'énergie, un disjoncteur automatique est intercalé à la manière ordinaire, c'est-à-dire dans le circuit d'alimentation. En avant de ce disjoncteur, ou de l'isolateur, s'il s'agit d'une ligne alimentée en série, on dérive le courant pour le faire passer par un interrupteur automatique approprié, qui ne permettra le passage du courant que lorsque aucune coupure n'existera dans la section à alimenter. Si un fil de trolley était rompu, on ne pourrait produire le flux nécessaire pour maintenir l'armure du relais de l'interrupteur. La condition nécessaire pour le fonctionnement de l'interrupteur est la suivante : le courant de la bobine est dérivé sur un des fils de trolley, le fil opposé étant celui qui reçoit directement le courant de l'interrupteur automatique ; il en résulte

nécessairement l'établissement d'un pont à l'extrémité pour assurer la continuité du courant dans les fils de trolley.

» La bobine de cet interrupteur devra avoir une résistance ohmique convenable permettant d'éviter l'échauffement dans le cas de différences de tension exagérées, tout en produisant le flux nécessaire au maintien de l'armature.

» S'il s'agit d'une ligne avec un seul fil de trolley, le fonctionne-

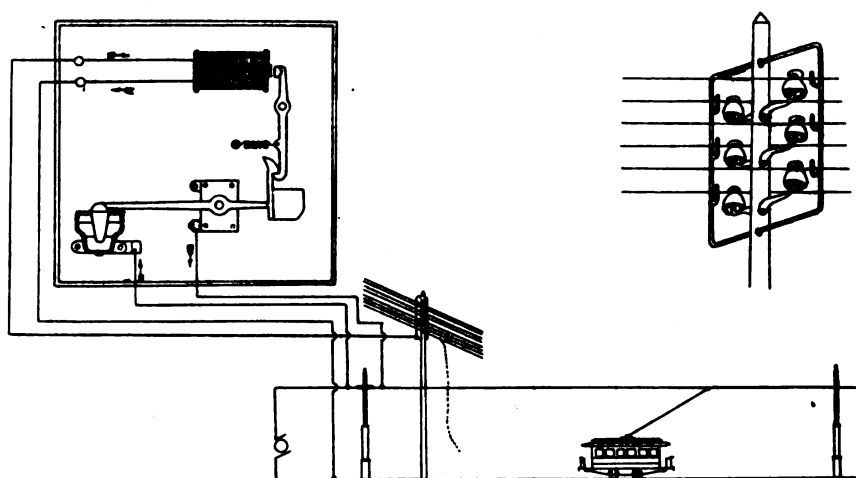


Fig 44.

ment du système est assuré par un fil auxiliaire alimenté de l'extrémité de la ligne.

» En plus de cet interrupteur, si l'on consolide les lignes aux points réputés dangereux, avec des ancrages offrant une certaine analogie avec ceux utilisés par le système Letroteur, nous sommes persuadé que la sécurité des lignes aériennes à trolley sera un fait accompli. Car, avec cette disposition, les fonctionnements intempestifs sont limités. De plus, à la station centrale ou autres lieux pourvus de disjoncteurs, ceux-ci ne pourront manœuvrer qu'au moment où la solution de continuité des fils de trolley sera assurée, un jeu de lampes témoins s'allumant au moment où l'opération peut être effectuée.

» Par la rupture du fil de trolley, l'exploitation est arrêtée : mais, par la combinaison d'interrupteurs indiquée sur la figure 43, on peut rétablir le service après avoir mis hors d'atteinte le fil de

trolley rompu : disposition qui ne paraît pas être obtenue dans la plupart des autres systèmes.

LIGNES TÉLÉGRAPHIQUES ET TÉLÉPHONIQUES.

» Dans tout le texte qui précède nous avons parlé des appareils ou dispositifs de sécurité intéressant en particulier les lignes électriques chargées à des tensions dangereuses. Il est, malgré cela, utile d'envisager les lignes télégraphiques ou téléphoniques lorsque celles-ci passent au-dessus d'une ligne à trolley.

» Si un fil télégraphique ou téléphonique casse et entre en contact avec le fil de trolley, son extrémité ne touchant pas le sol, le brin pendant est chargé d'énergie à une tension dangereuse et, par conséquent, offensif.

» La figure 44 représente un dispositif permettant d'obvier à cet inconvénient : au droit des poteaux-supports, la nappe des fils télégraphiques est entourée d'une ossature métallique convenable, connectée à une bobine actionnant un interrupteur automatique. Si un fil télégraphique casse et vient en contact avec le fil de trolley, le courant sollicite l'armature et intercepte le circuit des fils de trolley qui étaient en contact avec le fil télégraphique.

» Il est, à notre avis, beaucoup plus rationnel, lorsqu'il s'agit de croiser une ligne téléphonique ou télégraphique, de placer en souterrain ces dernières canalisations.

CONCLUSIONS.

» De tout ce qui précède nous pensons que, pour les lignes à trolley, un dispositif convenable existe pour la protection de ces installations; nous mentionnons spécialement celui représenté par la figure 43.

» Pour les lignes à haute tension, le système *Neu* nous semble convenable, sous réserve d'expériences de la part des spécialistes intéressés à la question. »

M. le PRÉSIDENT remercie vivement M. Barré de l'intéressant travail

qu'il vient de présenter à la Société et associe à ses remerciements la quatrième Section du Comité d'administration et particulièrement son président M. Grosselin, qui ont apporté à M. Barré une collaboration précieuse.

Il propose à la Société de reporter à une séance ultérieure la discussion de cette Communication, afin de permettre, à ceux des membres qui désireraient y prendre part, d'étudier d'une manière approfondie la Communication très nourrie de M. Barré.

Il signale toutefois l'intérêt que présente à ses yeux l'étude de ces appareils en raison du besoin de tensions toujours plus élevées que ressentent les entreprises de traction, et qui se heurte à la nécessité d'assurer la sécurité publique.

Il apporte une légère rectification à ce qu'a dit M. Barré au sujet de l'appareil Giraud employé par la Société Le Triphasé. Cet appareil n'est pas l'appareil à court-circuit, mais l'appareil à mise à la terre immédiate de tout conducteur rompu. Le point neutre de l'usine centrale étant à la terre, le résultat est le même, mais l'appareil est beaucoup plus simple et en particulier ne comporte aucune articulation; c'est probablement le motif pour lequel le fonctionnement de l'appareil a été reconnu très satisfaisant.

APPLICATION DES APPAREILS DE PROTECTION AUX LIGNES DE TROLLEY.

M. MARIAGE. — « Messieurs, notre collègue, M. Barré, vient de vous présenter une classification des appareils de sécurité contre les conséquences de la chute des conducteurs électriques aériens et vous a fait la description de certains de ces appareils.

» Vous avez pu ainsi vous rendre compte qu'ils sont aussi nombreux que variés; j'ajouterai que, à mon avis, bien peu sont susceptibles d'applications pratiques.

» Les observations que je vais avoir l'honneur de vous exposer se limitent à quelques-uns des appareils qui sont applicables aux lignes aériennes de prise de courant pour tramways plus spécialement appelées *lignes de trolley*.

» Je vous exposerai successivement :

» I. Quelques considérations sur les ruptures des fils de trolley;

» II. Une comparaison des diverses catégories de ces appareils au point de vue de leurs avantages et inconvénients.

I. — CONSIDÉRATIONS SUR LES RUPTURES DES FILS DE TROLLEY.

» Ces ruptures peuvent se produire dans les conditions suivantes :

» 1^o *Une suspension peut se rompre sans qu'il y ait rupture du fil de trolley.*

» Le calcul montre que, dans ce cas, si les suspensions voisines étaient absolument fixes, la flèche serait doublée; pratiquement, la ligne de trolley restera, en général, à une hauteur telle qu'il n'y ait aucune crainte d'accident.

» Pour éviter un tel dérangement des lignes, il faut employer des suspensions robustes et les vérifier périodiquement.

» 2^o *La rupture du fil de trolley se produit à l'extrémité d'une griffe de suspension et l'un des brins du fil tombe à terre.*

» Ce cas est le plus fréquent et il s'explique aisément par les considérations qui vont suivre.

» La partie AB (*fig. 1*) du fil vibre constamment et d'une manière très intense par suite du passage des prises de courant, tandis que la partie AC, qui est fixée à l'isolateur et qui est beaucoup plus rigide, ne subit que des mouvements faibles; par suite, la section A est soumise à des flexions répétées.

» Avec un fil de trolley rond, soudé aux griffes comme il est indiqué sur la figure 2, il peut arriver, si la prise de courant com-

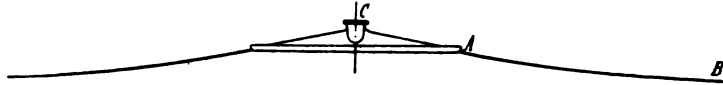


Fig. 1.

porte une roulette, que cette dernière se trouve légèrement éloignée du fil par la griffe; dès que la roulette a franchi la griffe, elle retombe sur le fil en produisant un léger choc. Ces chocs, dont l'effet est d'autant plus important que la masse de la tête de trolley est grande, produisent un martelage qui creuse le fil.

» De plus, quand la roulette quitte la griffe pour retomber sur

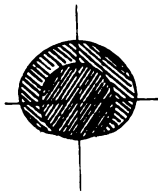


Fig. 2.



Fig. 3.

le fil, un arc se produit entre la roulette et les parties les plus voisines de la griffe et du fil et crée ainsi des érosions du métal.

» Dès qu'un léger creux se produit dans le fil, les chocs et les arcs augmentent d'intensité et tendent à l'accentuer de plus en plus, jusqu'à ce qu'il y ait rupture du fil.

» Pour remédier à ce premier inconvénient, qui est des plus sérieux, on a eu l'idée d'employer du fil de trolley dont la section présente une forme spéciale, qu'on peut appeler un 8 dissymétrique, et qui est supporté par des griffes dont les mâchoires sont vissées ou serties sur le fil (*fig. 3*).

» Une autre cause de rupture du fil à l'extrémité des griffes, qui, je crois, n'a pas encore été signalée à l'attention des constructeurs

de lignes aériennes, provient du fait qu'à l'extrémité des griffes le fil de trolley forme un angle dans un plan vertical; la prise de courant, animée d'une grande vitesse, produit, au passage de ces angles, des chocs qui dépendent de la vitesse et de la masse de la tête de trolley.

» Avec l'emploi du fil de forme spéciale et des griffes vissées ou serties cette cause persiste, bien que son effet soit diminué par suite de l'augmentation du moment d'inertie, et je pense que le seul remède consisterait à cintrer légèrement les griffes dans un plan vertical, de façon qu'elles raccordent entre elles, sans point angu-

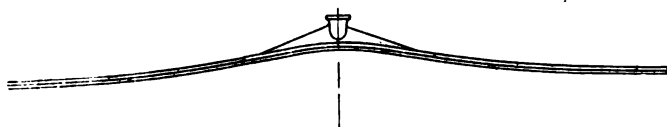


Fig. 4.

leux, les deux courbes (chainettes) formées par le fil de part et d'autre de la griffe (fig. 4).

» 3° *La rupture du fil de trolley se produit entre deux suspensions, soit au droit d'une soudure de fabrication, soit au droit d'un manchon ou flûte de jonction.*

» Pour les soudures de fabrication, il importe d'examiner spécialement ces points dans les essais de réception et de vérifier, notamment, que la résistance à la traction correspond bien aux conditions imposées par le cahier des charges; ce cahier des charges doit spécifier que ces soudures seront faites à l'argent et exécutées très soigneusement avant les dernières passes.

» En ce qui concerne les ruptures aux manchons ou flûtes de jonction, elles peuvent, à mon avis, être évitées si le travail de pose de ces flûtes est très bien exécuté. Certains exploitants de tramways ont renoncé à les employer en préférant faire les jonctions de fils sur des griffes de suspension. Personnellement, j'estime que les flûtes de jonction sont préférables aux jonctions faites sur les supports eux-mêmes.

» 4° *Les ruptures de fils de trolley peuvent se produire par suite d'usure normale du fil dans toute sa longueur, provoquée par les passages répétés des prises de courant.*

» Il résulte, d'après une enquête qui a été faite en Allemagne, que les fils de trolley entre deux renouvellements successifs peuvent supporter un nombre de passages de prise de courant variant, suivant les cas, entre 1 000 000 et 2 000 000. Avec des départs toutes les 3 minutes pour chaque direction, c'est-à-dire pour chaque fil, pendant 18 heures par jour, cette utilisation correspond à une durée de 7 à 14 années de service; ce dernier chiffre me paraît élevé.

» Ces considérations sur les ruptures étant indiquées, je préconiserai, pour les éviter, les moyens suivants :

» A. *Poser la ligne avec une tension calculée très exactement d'après la température au moment du réglage définitif et en se servant de dynamomètres.*

» Dans ce but, il est très recommandable de vérifier ses dynamomètres sur une ligne d'essai, construite avec le fil que l'on doit poser et en vérifiant les flèches : on peut ainsi dresser expérimentalement le Tableau des tensions de pose en fonction des températures ou, du moins, vérifier l'exactitude d'un certain nombre des chiffres calculés.

» B. *Employer le fil en forme de 8 dissymétrique avec des griffes vissées ou serties sur ce fil et légèrement cintrées dans un plan vertical pour éviter les points anguleux.*

» C. *Employer des appareils de prise de courant de masse aussi réduite que possible.*

II. — COMPARAISON DES APPAREILS DES DIVERSES CATÉGORIES AU POINT DE VUE DE LEURS AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS.

» Je signalerai avant tout que ces appareils doivent être simples et robustes, et modifier le moins possible les isolateurs et supports de la ligne de trolley.

» Leur sensibilité doit être suffisante pour que leur fonctionnement fasse supprimer le courant avant que le fil soit arrivé à 2,50 m du sol; mais cette sensibilité ne doit pas être telle qu'il en résulte des fonctionnements intempestifs.

» 1° Les appareils de la première catégorie, c'est-à-dire ceux qui, par rupture du conducteur, provoquent un sectionnement, en

supprimant le contact avec les brins rompus, présentent le grave inconvénient de créer de nombreux contacts qui sont en général défectueux. Spécialement, un petit nombre seulement d'entre eux est applicable aux lignes de trolley. La nécessité d'assurer le passage de la prise de courant conduit à des systèmes compliqués et qui présentent un point faible à l'endroit où la ligne fatigue le plus.

» 2° Les appareils de la deuxième catégorie fonctionnent par court-circuit et provoquent le fonctionnement d'un disjoncteur automatique à l'usine.

» Avec de tels appareils, l'usine ne peut distinguer, au moment du fonctionnement du disjoncteur, s'il s'agit d'une rupture de fil ou d'un court-circuit accidentel et passager, ou même d'un maximum extraordinaire de courant. Lorsque, dans les usines génératrices de traction, les disjoncteurs viennent à déclencher, la consigne est de refermer ces disjoncteurs et, suivant les installations, cette opération doit se répéter deux ou trois fois et même davantage avant de renoncer à fermer le circuit.

» Dans le cas de fonctionnement des appareils de cette catégorie, on provoquerait ainsi, chaque fois que l'on refermerait le disjoncteur, un court-circuit très brutal sur l'ensemble de l'installation; en outre, si les appareils ayant fonctionné ne maintenaient pas un contact absolu à la terre, le fil tombé serait électrisé chaque fois que l'on refermerait le disjoncteur.

» 3° Les appareils de la troisième catégorie, qui comportent la manœuvre mécanique d'un interrupteur, sont compliqués et coûteux.

» 4° Je dirai tout de suite quelques mots des cinquième et sixième catégories, de façon à pouvoir mieux comparer ensemble les appareils des quatrième et septième catégories.

» L'appareil Neu (cinquième catégorie), dont M. Barré nous a indiqué le principe, me paraît très intéressant; il serait désirable que des renseignements sur son fonctionnement pratique soient apportés devant vous.

» La sixième catégorie comprend spécialement la suspension caténaire, très employée quand il s'agit de la traction électrique sur les chemins de fer. On comprend aisément que, si les conditions d'esthétique n'avaient pas une grande importance pour l'établissement du trolley dans les villes, on pourrait trouver, avec la suspension

caténaire, une solution du problème; il suffirait que $h - d$ (*fig. 5*)

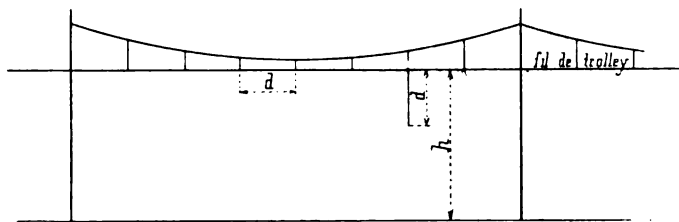


Fig. 5.

soit supérieure à 3 m pour que la distance minimum du fil électrisé du sol soit d'au moins 3 m; mais je pense qu'il n'est pas nécessaire de tant réduire la distance d : l'emploi de la suspension caténaire peut permettre de diminuer la tension dans le fil de trolley en la reportant sur le câble d'acier, dont la résistance est bien supérieure et qui ne subit pas la fatigue des prises de courant. On peut obtenir ainsi une sécurité très satisfaisante.

» On peut également indiquer dans cette catégorie le système de renforcement des lignes aériennes (*fig. 6*), très employé en Alle-

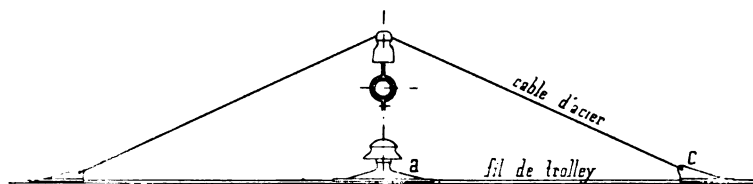


Fig. 6.

magne, et qui consiste à supporter le fil de trolley par deux griffes supplémentaires placées de part et d'autre de la griffe principale et maintenues par des câbles d'acier fixés à un isolateur placé sur la potence. L'inconvénient de ce système est de diminuer l'isolement de la ligne; quant aux nouvelles griffes, elles ne présentent pas tous les inconvénients de la griffe principale, car elles sont entraînées dans tous les mouvements du fil.

» 5° Les appareils de la quatrième catégorie mettent hors circuit la ligne par une dérivation actionnant des interrupteurs automatiques.

» Ces appareils sont très intéressants; sur la figure 7, qui permet

d'en faire comprendre le principe, j'ai indiqué comme type d'app

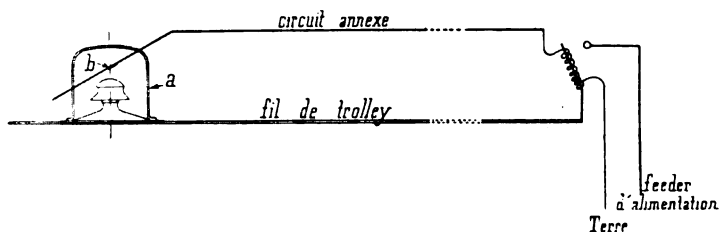


Fig. 7.

reil de contact celui qui, à ma connaissance, en est le plus ancien : c'est l'appareil Siemens.

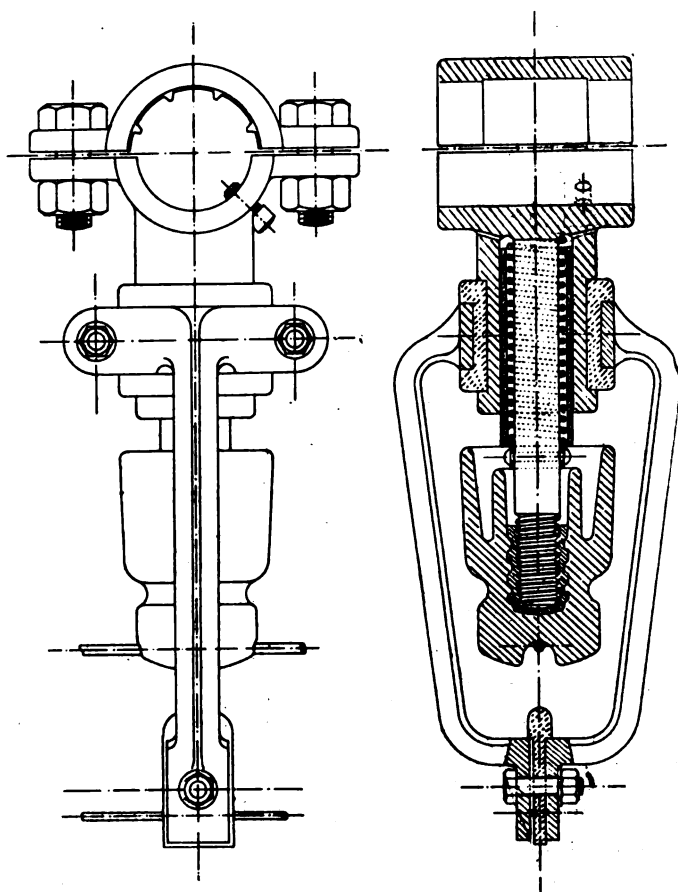


Fig. 8.

» Je ne reparlerai pas des appareils décrits par M. Barré, me contentant de signaler que, à mon avis, il faut surtout, pour de tels

appareils, rechercher la simplicité; je dirai cependant un mot de l'appareil Fournier, breveté par la Compagnie française Thomson-Houston : cet appareil, dont un détail est représenté sur la figure 8, est très robuste et très mécanique; il comporte deux griffes supplémentaires qui, d'une part, remplissent le même but que celles de la figure 6 et qui, d'autre part, servent au fonctionnement même de l'appareil de contact. Cet appareil peut s'installer sur des lignes déjà existantes.

» Sur des lignes à construire, on pourrait envisager la possibilité d'augmenter la distance entre deux poteaux successifs en éloignant l'une de l'autre les deux griffes supplémentaires.

» Je vous signalerai également un appareil que la Compagnie générale des Omnibus essaye actuellement sur une ligne de trolley entre la porte du Point-du-Jour et le pont de Sèvres; chaque appareil, représenté sur la figure 9, comporte un contact mobile en

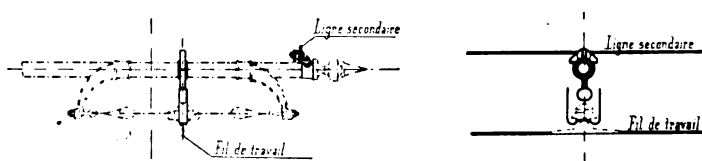


Fig. 9.

forme d'U fixé sur la griffe de suspension et un contact fixe monté avec un faible isolement sur le tube de potence. On place un appareil de deux en deux poteaux; un fil aérien annexe de 3 à 4 mm de diamètre porté sur les poteaux et faiblement isolé est réuni à tous les contacts fixes et à la terre par l'intermédiaire d'un ou plusieurs interrupteurs automatiques. Ainsi que vous pouvez vous en rendre compte, cet appareil est tout à fait simple; il est basé sur le même principe que l'appareil Siemens (*fig. 7*).

» A titre de renseignement, le prix d'installation de ce dispositif a été de 555 fr par 1000 m de fil de trolley, en comptant un appareil de contact de deux en deux poteaux et un interrupteur automatique à chaque extrémité.

» Les inconvénients et les avantages de ces appareils sont les suivants :

INCONVÉNIENTS.

» *a.* Pour chaque section de ligne sur laquelle on veut supprimer le courant indépendamment des autres, ces appareils exigent l'établissement d'un circuit annexe à faible isolement reliant tous les points de support où sont placés des appareils de contact. Généralement, ces appareils de contact doivent être placés de deux en deux suspensions de lignes; avec des appareils très sensibles, on pourrait même ne les placer que toutes les trois suspensions; mais, si l'on augmente la sensibilité, on peut craindre des fonctionnements intempestifs.

» *b.* On ne peut rétablir le courant sur le fil cassé que lorsque la ligne est réparée avec une tension suffisante.

AVANTAGES.

» *a.* Ces appareils peuvent être très simples et constitués par des pièces indépendantes de celles de la ligne aérienne.

» *b.* Même si le contact qui a fait fonctionner l'interrupteur n'était pas maintenu, on peut s'assurer, avant de refermer cet

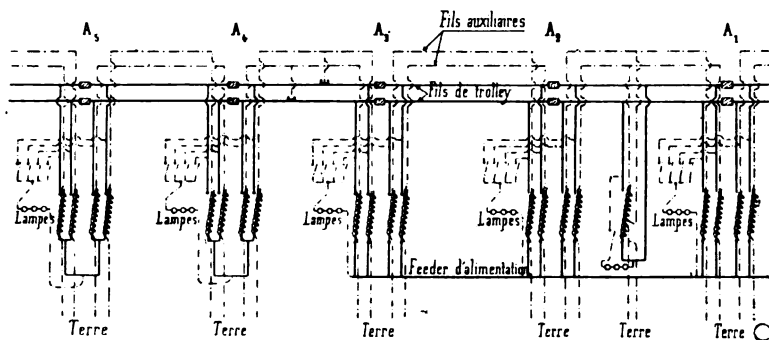


Fig. 10.

interrupteur, qu'il n'y a aucun inconvénient à le faire, ce qui n'est pas possible avec les appareils de la deuxième catégorie.

» *c.* Le principe de ces appareils est tel qu'ils peuvent s'installer quel que soit le mode d'alimentation des lignes; c'est là un avantage très important.

» Sur la figure 10, j'ai fait représenter l'installation schématique d'une ligne comportant deux fils de trolley sectionnés en divers points, tels que $A_1, A_2, A_3, A_4, \dots$

» Pour les points A_1, A_2, A_3 , je suppose que la ligne est alimentée par un feeder et qu'il existe aux points d'alimentation A_1, A_2, A_3 la série des appareils figurés sur le schéma; je suppose que le feeder s'arrête en A_3 et que les postes A_4, A_5 n'ont d'autre but que de permettre l'alimentation successive des diverses sections de fils de trolley.

» Avec une telle installation, on se rend compte que le feeder d'alimentation et le fil de trolley travaillent en parallèle jusqu'à la section A_3 , et qu'ensuite les deux fils de trolley servent à propager le courant jusqu'à l'extrémité de la ligne.

» Si, sur l'un des deux fils de trolley de la section A_3, A_4 , un des appareils de sécurité vient à fonctionner, les deux interrupteurs automatiques placés à chaque extrémité du fil de cette section mettent ce fil hors circuit et tout le reste de l'installation peut continuer à fonctionner. On pourrait même dans certains cas, si l'on jugeait utile de réunir électriquement ensemble deux fils de trolley au milieu d'une section, faire cette connexion à l'aide d'un interrupteur automatique muni de deux enroulements formés chacun par une dérivation à la terre de chaque fil auxiliaire; cet interrupteur fonctionnerait comme les deux d'extrémités.

» Bien que l'ensemble de ces systèmes paraisse compliqué, ils présentent le grand avantage, si une rupture de fil de trolley vient à se produire, d'éviter toute interruption de courant sur le reste des autres sections et, par conséquent, de permettre la continuation du service des voitures.

» Je vais avoir l'honneur de faire fonctionner devant vous l'appareil Fournier et celui de la Compagnie générale des Omnibus.

» 6° Les appareils de la septième catégorie fonctionnent par suppression de la continuité électrique du circuit; cette suppression de continuité peut, soit directement, soit plus généralement par l'intermédiaire d'un circuit annexe, provoquer le déclenchement d'un interrupteur.

» Au sujet du système de cette catégorie décrit par M. Barré, je dois dire que, tel qu'il est conçu, il présenterait un réel inconvé-

nient. En effet, s'il se produit une interruption de courant à l'usine, le disjoncteur s'ouvrira et, pour remettre le courant sur la ligne, il faudra le refermer, ce qui ne serait admissible que si cet appareil était placé à l'usine même. Les appareils dont je vais vous parler ne présentent pas cet inconvénient.

» *Système Siemens et Halske.* — La figure 11 donne le schéma du principe.

» A l'extrémité de la ligne de trolley AB est connecté un fil annexe *ba*, dont l'autre extrémité est reliée à l'un des enroulements

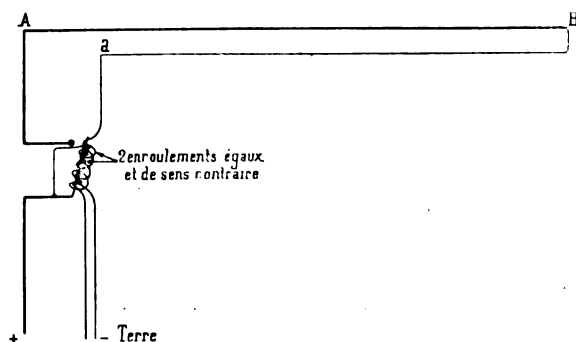


Fig. 11.

d'un interrupteur automatique; cet interrupteur possède un deuxième enroulement qui est branché entre l'arrivée du feeder positif et la terre; ces deux enroulements sont en sens contraire.

» Si le fil de trolley AB vient à se rompre, il y a rupture du circuit électrique AB/*ba*-terre, et le courant est interrompu dans l'un des enroulements. L'action de l'autre enroulement fait ouvrir l'interrupteur automatique.

» S'il s'agit, au contraire, d'une interruption de courant par suite du fonctionnement des disjoncteurs automatiques de l'usine, le courant cesse dans les deux enroulements et l'interrupteur spécial reste fermé.

» La construction d'un tel interrupteur automatique avec des circuits fins ne devant laisser passer à 500 volts qu'un courant aussi réduit que possible présente certaines difficultés.

» *Système Thomson-Houston.* — La figure 12 représente le schéma du principe du fonctionnement de ce système. AB est le fil de la

ligne aérienne alimentée en A, et dont l'extrémité B est reliée au fil pilote $ba'a$; l'extrémité a est reliée, d'une part, à la terre par une résistance R , d'au moins 500 ohms, et, d'autre part, à la borne de sortie du disjoncteur qui est elle-même reliée à la ligne aérienne en A par l'intermédiaire d'une résistance r et de la bobine d dont la résistance $r + d$ est d'environ 500 ohms.

» Lorsque l'interrupteur est fermé, il s'établit une dérivation à la

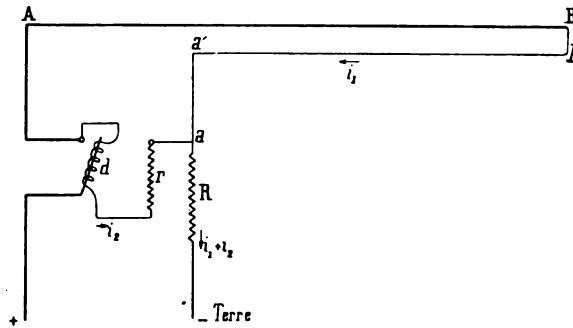


Fig. 12.

terre. Admettons que la tension trolley-rails soit de 550 volts en A et de 450 volts en B,

$$i_2 = \frac{100 \text{ volts}}{r + d} = \frac{100}{500} = \frac{1}{5},$$

sans tenir compte de la chute de tension ba qui est négligeable dans ce calcul.

» Le courant qui passe dans la bobine de l'interrupteur est donc $i_2 = 0,2$ ampère.

» Si le fil de trolley vient à se rompre, i_2 deviendra

$$i'_2 = \frac{550}{r + d + R} = \frac{550}{1000} = 0,55 \text{ ampère.}$$

» Il y a donc accroissement très sensible du courant dans la bobine du disjoncteur. On peut donc régler l'interrupteur pour qu'il ne s'ouvre que lorsque le courant qui passe dans la bobine atteint 0,3 ampère, par exemple.

» Le calcul que nous venons de faire correspond à une hypothèse défavorable; il est rare, en effet, d'avoir une chute de tension de 100 volts sur une section à protéger par un seul appareil et, si nous

avons supposé une chute de tension de 50 volts, par exemple, on aurait eu $i_2 = 0,1$ et $i'_2 = 0,55$ ampère, donnant encore plus de facilité de réglage.

» Les inconvénients et les avantages des appareils de la septième catégorie sont les suivants :

INCONVÉNIENTS.

» *a.* Pour chaque section de ligne sur laquelle on veut supprimer le courant indépendamment des autres, ces appareils exigent l'établissement d'un circuit annexe relié seulement aux deux extrémités du tronçon du fil à protéger. Dans certains cas spéciaux, on peut se dispenser du fil annexe en se servant du deuxième fil de trolley; mais, pour éviter ainsi l'emploi du fil annexe, on est conduit à une plus mauvaise utilisation du cuivre du fil de trolley, ainsi que je l'indiquerai plus loin.

» *b.* On ne peut rétablir le courant sur le fil cassé que lorsque les deux tronçons du fil sont reliés électriquement.

» *c.* Le plus grave inconvénient de ces systèmes provient des conditions spéciales dans lesquelles doit se faire l'alimentation des lignes.

» Leur principe, basé sur la suppression de la continuité d'un circuit, exige, en effet, qu'il n'y ait qu'une seule connexion entre les feeders et chaque tronçon, et, par conséquent, le fil de chaque tronçon doit être isolé des tronçons, voisins si l'on désire que le courant ne soit coupé que sur la section qui comporte le fil cassé; il en résulte que le fil de trolley ne sert plus ainsi à transmettre le courant aux sections voisines et il est nécessaire d'établir un feeder distributeur. Cela peut être un grave inconvénient pour des lignes de banlieue dont le trafic n'est pas suffisant pour nécessiter l'adjonction d'un tel feeder. Les figures 13 et 13 *bis* représentent les dispositions qu'on devrait prendre si l'on voulait obtenir un fonctionnement analogue au dispositif de la figure 10 (appareils de la quatrième catégorie).

» Ces dispositions sont indiquées avec emploi de fils annexes et sans fils annexes; dans ce dernier cas, l'inconvénient est encore plus important, puisque non seulement il faut un feeder distribu-

teur, mais les chutes de tension sont plus importantes dans les

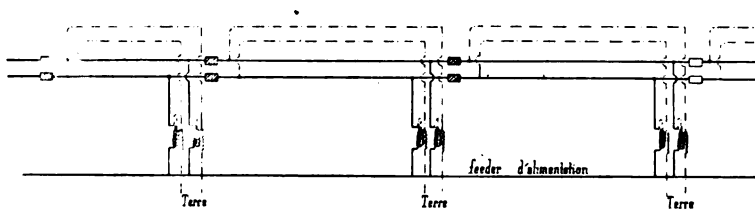


Fig. 13.

deux fils de trolley, puisqu'ils sont réunis en série et non en parallèle.

» *d.* Ces systèmes consomment une certaine quantité d'énergie

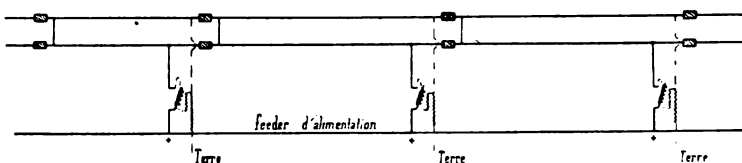


Fig. 13 bis.

électrique, le courant, dans le circuit annexe, pouvant être constamment de 0,1 à 0,2 ampère ; cela représente une consommation de 1 à 2 kilowatts-heures par jour et par interrupteur.

AVANTAGES.

» *a.* Ces appareils sont très simples, puisqu'ils ne comportent que des interrupteurs automatiques, sans aucun appareil sur la ligne de trolley, mais avec un circuit annexe à isolement élevé.

» *b.* Leur fonctionnement présente moins de risques que celui des appareils de la quatrième catégorie, puisque, dans les deux cas, il y a un interrupteur automatique et que, pour les systèmes de la septième catégorie, il n'y a pas d'appareils sur la ligne de trolley.

» Pour terminer, je me permettrai d'émettre quelques conclusions, suivant que l'emploi de l'appareil est ou n'est pas prescrit par les autorités administratives :

1° L'emploi d'appareils de sécurité est prescrit par les autorités administratives.

» A. Il faut, avant tout, éviter complètement les appareils compliqués qui peuvent, par eux-mêmes, être une cause d'incidents plus fréquents que les ruptures de fils.

» B. Il est intéressant de chercher à les monter de telle manière qu'on puisse assurer la continuation du service d'exploitation si un fil de trolley vient à casser.

» C. S'il s'agit d'une ligne longue, devant être sectionnée et pour laquelle on ait intérêt à utiliser tout le cuivre pour la conduite du courant électrique, j'estime que la préférence doit être donnée aux appareils mécaniques de la quatrième catégorie et surtout à ceux de ces appareils qui sont les plus simples; si la ligne est très courte ou s'il n'est pas nécessaire d'utiliser le fil de trolley pour conduire le courant aux sections voisines, les appareils électriques de la septième catégorie sont à conseiller; en particulier, s'il s'agit d'une ligne très courte pour laquelle l'utilisation rationnelle du cuivre soit secondaire, on peut employer un des dispositifs de la septième catégorie sans fil pilote, la boucle électrique étant constituée par les deux fils de trolley.

2° Il n'existe aucune prescription relative à l'emploi d'appareils de sécurité.

» A. Si l'emploi de ces appareils n'avait d'autre but que d'éviter les conséquences de la chute sur le sol d'un fil électrisé à 500 volts, j'estime qu'on pourrait s'en dispenser, d'autant plus que : le renforcement des lignes aériennes, le fil de cuivre de forme spéciale avec griffes vissées ou serties, l'emploi de cuivre d'excellente fabrication et une bonne construction des lignes sont de nature à réduire très considérablement le nombre des ruptures de fils de trolley.

» B. Cependant il est permis de se demander si, dans certains cas, on n'aurait pas intérêt à installer un dispositif de sécurité, parce que :

» D'une part, on aurait l'avantage, en cas de rupture de fil, de pouvoir assurer la continuation du service;

» D'autre part, on pourrait se permettre d'user pendant plus longtemps le fil de trolley, jusqu'au moment où les ruptures deviendraient trop fréquentes.

» Je crois que le bénéfice qu'on retirerait de cet avantage et de la possibilité de plus grande usure du fil serait supérieur aux charges créées par l'emploi du dispositif de sécurité. »

M. le PRÉSIDENT remercie M. Mariage de son intéressante Communication qui apparaîtra comme une préface de la discussion sur les appareils de protection dont a traité M. Barré.

La séance est levée à 10^h 30^m du soir.

LA COMMISSION INTERNATIONALE DE PHOTOMÉTRIE.

(Réunion de Zurich, juillet 1907.)

ANNEXE II ⁽¹⁾.

DESSIN ET DESCRIPTION SOMMAIRE DE LA LAMPE CARCEL.

« La Carcel est une lampe à mèche annulaire, à double courant d'air et brûlant de l'huile de colza épurée. Un verre assure le tirage et protège la flamme.

- » La lampe comprend deux parties principales :
- » 1° Le corps de la lampe avec le réservoir d'huile et le mécanisme ;
- » 2° Le brûleur avec la mèche et le verre.
- » Le brûleur se visse à la partie supérieure du corps de la lampe.

1° LE CORPS DE LA LAMPE.

» Le corps de la lampe à peu près cylindrique renferme, à la partie inférieure, le mouvement d'horlogerie et le mécanisme qui transmet le mouvement à la pompe placée au-dessus dans le réservoir d'huile. La partie supérieure du corps de la lampe est d'un diamètre plus faible. Elle s'évase un peu vers le haut en forme de coupe, pour faciliter le remplissage, et elle porte un taraudage dans lequel vient se fixer le brûleur.

» *Le mouvement d'horlogerie* comprend comme d'ordinaire un ressort dans un barillet et une série d'engrenages. Il est monté entre deux platines fixées par des équerres aux parois de la lampe. Le réglage de la vitesse est obtenu par un amortisseur à air.

» *Transmission du mouvement.* — L'arbre de l'avant-dernier engrenage *a*, avant l'amortisseur, est doublement coudé à angle droit de manière à former une manivelle. La vitesse angulaire de ce mobile est de 8 à 10 tours par minute. Sur la partie excentrée est fixée une bielle *b* dont l'autre extrémité est articulée avec un levier *c* (perpendiculaire au plan de la figure 1) solidaire d'un arbre vertical *d*. Le mouvement de rotation continu du mouvement d'horlogerie transmet un mouvement angulaire alternatif à l'arbre vertical ; l'amplitude de ce mouvement est de 16° environ.

» L'arbre traverse verticalement la partie du corps de la lampe qui contient le mouvement d'horlogerie. Il est maintenu par ses pivots.

» A 15 mm au-dessus de la base de la lampe se trouve une cloison horizontale qui forme le fond du réservoir à huile. Cette cloison est formée d'une partie annulaire soudée à la paroi et d'un plateau circulaire maintenu appliqué d'une manière étanche par des vis de serrage.

⁽¹⁾ Communication de M. F. LAPORTE à la Commission internationale
(*Bulletin* de novembre, p. 487).

» A travers le plateau passe un second arbre vertical *e* parallèle, par conséquent, au premier. Le mouvement des deux arbres est rendu solidaire. L'arbre inférieur est muni d'un bras *f* portant une cheville parallèle à l'axe de rotation et à une distance

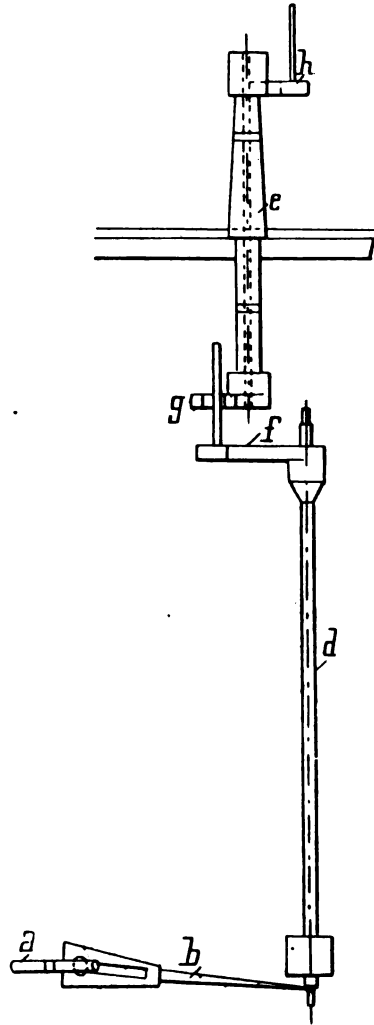


Fig. 1. — Transmission du mouvement.

de 20 mm. Cette cheville s'engage entre les deux guides d'une fourchette *g* portée par le second arbre.

» De l'autre côté du plateau, dans le réservoir à huile, l'arbre commande la pompe de refoulement d'une manière analogue.

» Un bras *h*, fixé sur l'arbre, porte une cheville qui s'engage dans une rainure creusée dans une pièce *i* portée par la tige de la pompe.

» Le déplacement angulaire alternatif de la cheville communique un mouvement rectiligne de va-et-vient à la pompe, grâce à la rainure qui permet le glissement de la

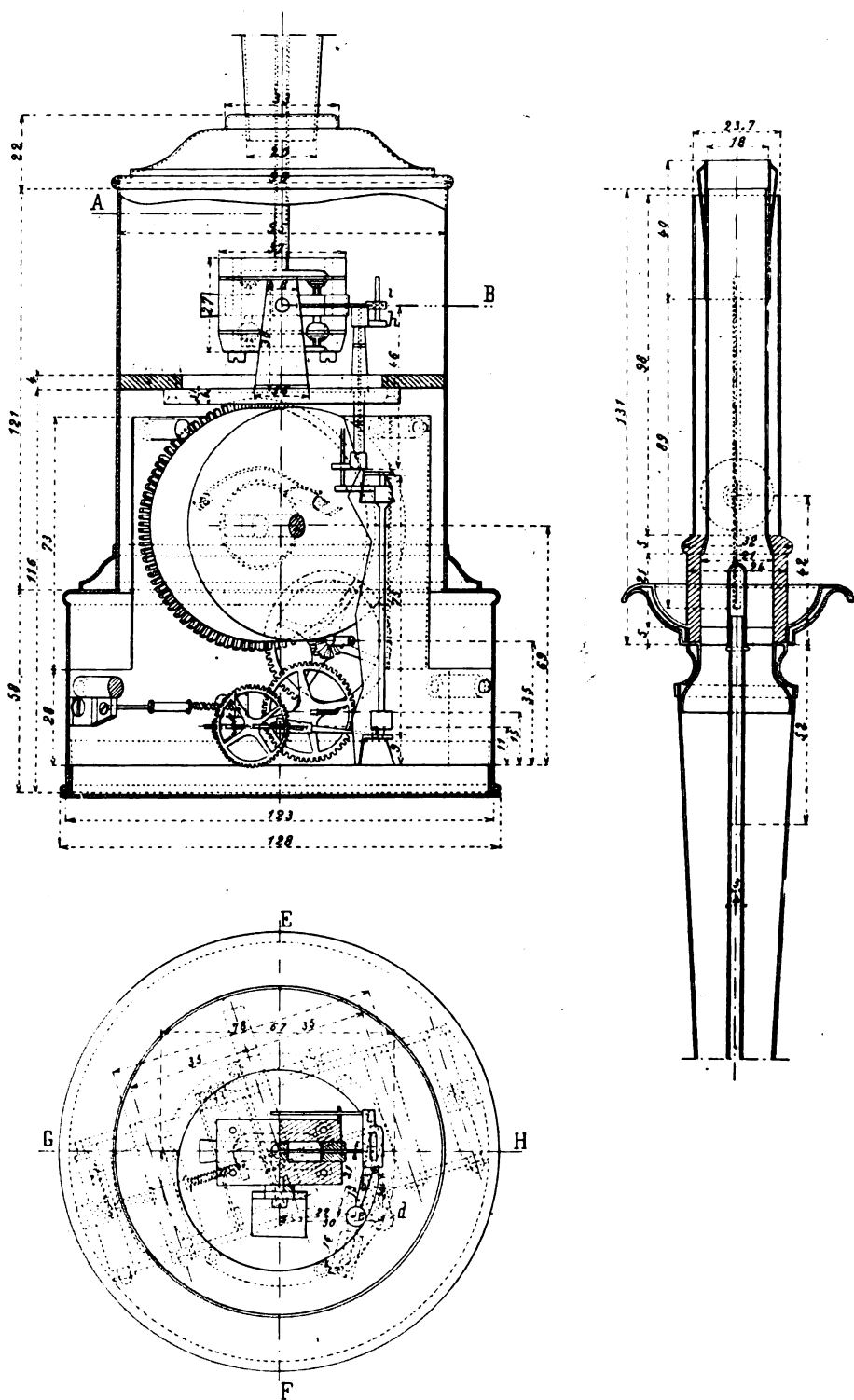


Fig 3. — Coupe plan et de la Carcel.

2° LE BRULEUR.

» La mèche de la lampe est placée dans un espace annulaire compris entre deux tubes cylindriques réunis et soudés à leur base (*fig. 3*). Au fond de cet espace annulaire débouche le tube par où se fait le refoulement de l'huile. La mèche est introduite

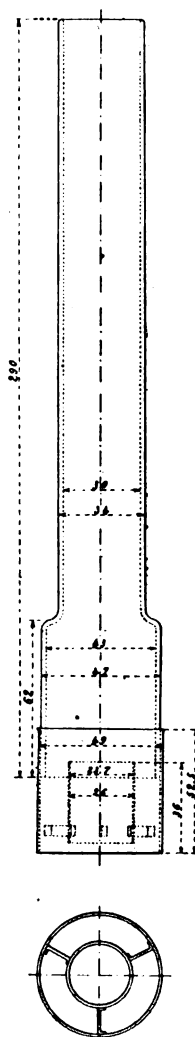


Fig. 4. — Verre.

à sa place et peut être réglée au moyen d'un bouton commandant une crémaillère fixée à un cylindre mobile qui peut glisser entre les deux autres.

» Le brûleur annulaire est fixé à la bague fileté qui se visse dans le corps de la lampe par deux bras qui laissent passer dans leur intervalle l'air aspiré dans le cylindre intérieur.

» A la partie supérieure, le tube intérieur du brûleur est plus haut que le tube extérieur. Pendant le fonctionnement de la lampe, la mèche dépasse d'un peu moins de 1 cm ces cylindres qui l'entourent.

» L'huile refoulée par la pompe arrive dans le bas du logement de la mèche, elle remplit cet espace peu à peu en imbibant la mèche et enfin elle se déverse à l'extérieur. Une partie de l'huile monte encore par capillarité dans la mèche et alimente la flamme; l'huile en excès retourne au réservoir en suivant la surface latérale du brûleur, puis en tombant goutte à goutte.

» *Le verre* de la lampe (*fig. 4*) s'emboîte dans un cylindre de laiton qui est fixé par trois bras à une bague. Le frottement de cette bague sur le tube extérieur du brûleur suffit pour maintenir le verre. Une galerie mobile, percée d'ailleurs d'orifices pour assurer la rentrée de l'air et le tirage, complète le revêtement extérieur de la lampe.

» Un double courant d'air agit sur la flamme à l'intérieur du brûleur et dans l'espace annulaire entre le brûleur et le verre.

» Le verre a la forme bien connue.

» Les diamètres intérieurs du verre ont 43 mm et 30 mm; la hauteur totale de la cheminée est de 290 mm. »

auprès des ingénieurs par la règle à calculs, dont l'auteur est l'inventeur et qu'il appelle le *vélo du calculateur*.

La règle construite suivant ses indications fournit, à longueur égale de l'instrument, des solutions deux fois plus approchées que les règles des autres systèmes.

Dans cette quatrième édition, M. Béghin généralise l'emploi d'une classification des positions de correspondance imaginée par lui et qui facilite beaucoup l'usage de la règle.

Sur les derniers modèles construits, le nombre des formules usuelles et des constantes numériques a été considérablement augmenté.

Souhaitons, avec l'auteur, la vulgarisation aussi complète que possible de la Table de logarithmes sous la forme de règle à calculs.

Traité complet d'analyse chimique appliquée aux essais industriels, par J. POST et B. NEUMANN. Traduction de M. L. GAUTIER. 2^e édition. Tome I, 1^{er} fascicule. 1 vol. in-8°. Paris, A. Hermann, éditeur, 1907.

Cet Ouvrage considérable comprendra, lorsqu'il sera terminé, deux Volumes de chacun 900 pages environ. L'éditeur a décidé de diviser cette véritable encyclopédie du chimiste analyste en huit fascicules se vendant séparément et renfermant, autant que possible, un groupe d'industries ayant entre elles certaines analogies. Cette idée est heureuse en ce qu'elle permet aux spécialistes de se procurer à peu de frais ce qui concerne plus particulièrement les éléments qui les intéressent davantage.

Dans le fascicule actuel, les matières traitées se rapportent aux analyses d'eaux, de combustibles, à la pyrométrie et aux dosages des gaz des fumées, de chauffage, de moteurs et des gaz de mines.

Nous avons particulièrement apprécié le Chapitre consacré à la pyrométrie, dans lequel les applications de l'électricité sont fort nombreuses, beaucoup de pyromètres étant électriques.

Fort belle édition d'ailleurs et nombreuses figures (presque une par deux pages) explicatives.

Commentaire de la loi sur les distributions d'énergie électrique, par P. BOUGAULT, Avocat à la cour d'appel de Lyon. 2^e édition. Grenoble, 1907. A. Gratier et J. Rey, éditeurs.

L'auteur, en commentant la loi du 15 juin 1906 sur les distributions d'énergie électrique, a désiré compléter ses deux Ouvrages précédents sur la « législation des chutes d'eau » et sur les « autorisations et commissions administratives ». Ces divers Volumes sont de précieux auxiliaires pour les sociétés de distribution d'énergie et il était intéressant de préciser certains points de la nouvelle loi, ces points pouvant sembler obscurs dans la pratique.

Exercices et projets d'Électrotechnique, publiés sous la direction d'ERIC GERARD et O. de BAST, de l'*Institut électrotechnique Montefiore*. Tome I. Paris, Gauthier-Villars, éditeur, 1907.

Dans ce Volume in-8°, les directeur et sous-directeur de Montefiore publient un
2^e SÉRIE, TOME VII, 1907. — N° 70. 40.

choix d'exercices et de projets proposés aux élèves de l'Institut de Liège comme applications de leurs cours.

Cette fois les questions sont relatives aux applications de la théorie de l'électricité et du magnétisme.

Dans un autre Volume seront réunis les exercices et projets sur les machines et les installations.

Comme il convient dans des exercices de cette nature, les auteurs font usage, dans les énoncés, d'unités hétérogènes afin de fournir de nombreux exemples de leurs transformations. Les élèves sont ainsi rompus à une pratique bien utile et souvent négligée.

A signaler la large part réservée au calcul des grandeurs alternatives; les auteurs y font un usage presque exclusif des procédés graphiques et de la méthode des imaginaires dite *symbolique*. La Table des matières ne permet pas de se rendre compte des précieux enseignements que l'on rencontre dans la lecture de ces exercices. A moins de répéter tous les énoncés, ce qui aurait été fastidieux, il était difficile de faire mieux; aussi, les six Chapitres sont-ils simplement mentionnés comme suit : magnétisme, électrostatique, lois du courant électrique, électromagnétisme, induction électromagnétique, courants alternatifs.

Agenda Dunod pour 1908 : Électricité, par J.-A. MONTPELLIER, rédacteur en chef de l'*Électricien*. 1 vol. 10 x 15 cm, 300 pages de texte et 128 pages blanches pour notes, relié en peau souple, 2,50 fr. Paris, Dunod et Pinat.

Cet Ouvrage bien connu est particulièrement intéressant cette année, parce qu'il renferme la liste, par ordre alphabétique, des villes et communes dans lesquelles existe une distribution publique d'énergie électrique.

Cette liste est le résumé de l'important Ouvrage publié par M. Montpellier sur le même sujet.

Dans l'*Agenda*, on trouve pour chaque localité les renseignements suivants : département; nom de l'exploitant; nature du courant, genre de distribution, tension, nature de la force motrice; nombre d'habitants.

Lorsque dans une localité se trouve une usine en desservant plusieurs autres, la liste de ces localités est donnée ainsi que le nombre d'habitants.

Nous avons pu vérifier l'exactitude des renseignements pour un grand nombre de localités et nous ne saurions trop féliciter l'auteur du soin méticuleux apporté à ce travail, qui sera utile à beaucoup.



LISTE DES OUVRAGES

OFFERTS A LA SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ÉLECTRICIENS.

(Suite.)

La Bibliothèque est ouverte aux Membres de la Société, tous les jours
de 2 heures à 5 heures, excepté les dimanches et jours de fêtes,
12, rue de Staël.

France.

Agenda Dunod pour 1908 : Électricité, par J.-A. MONTPELLIER. Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1908; 1 vol. petit in-8°, relié peau souple. (*Don des éditeurs.*)

Calcul graphique et Nomographie, par M. D'OCAGNE. Paris, Octave Doin, 1908; 1 vol. in-18 Jésus cartonné toile (*Encyclopédie scientifique*, publiée sous la direction du Dr Toulouse : *Bibliothèque de Mathématiques appliquées*). (*Don de l'éditeur.*)

Les oscillations du matériel des chemins de fer et la voie. Stabilité des automobiles, par Georges MARIE. Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1906-1907; 5 vol. in-8° et in-4°, comprenant :

- I. *Les dénivellations de la voie et les oscillations du matériel des chemins de fer.*
- II. *Les oscillations du matériel des chemins de fer à l'entrée en courbe et à la sortie.*
- III. *Les grandes vitesses des chemins de fer. Les oscillations du matériel et la voie.*
- IV. *Les oscillations du matériel dues au matériel lui-même et les grandes vitesses des chemins de fer.*
- V. *Formule relative à une condition de stabilité des automobiles et spécialement des autobus. Oscillations diverses.*

Prescriptions de l'Association des Ingénieurs allemands pour l'exécution des centrales de distribution d'énergie électrique. Règles d'exécution.

Traduit de l'allemand par E. ALLAIN-LAUNAY. Paris, Ch. Béranger, 1908;
1 vol. in-8°, broché. (*Don de l'éditeur.*)

Étranger.

Praktische Photometrie, von Dr Emil LIEBENTHAL. Braunschweig, Friedrich
Vieweg und Sohn, 1907; 1 vol. in-8°, broché. (*Don de l'éditeur.*)



TABLE ALPHABÉTIQUE DES MATIÈRES

CONTENUES DANS LE TOME VII (2^e SÉRIE).

Bibliographie.

	Pages
Agenda Dunod pour 1908 : Électricité par M. J. Montpellier.....	610
Alternateurs à collecteurs monophasés et polyphasés et les dynamos à courant continu à deux paires de balais (Les), par M. Charles Jacquin.....	430
Année électrique, électrothérapique et radiographique (L'), par M. le Dr Foveau de Courmelles.....	200
Annuaire pour l'an 1907.....	321
Bases d'une théorie mécanique de l'Électricité, par M. Seligman-Lui.....	130
Carbone et son industrie (Le), par M. J. Escard.....	199
Commentaire de la loi sur les distributions d'énergie électrique, par M. Bougault.....	609
Commutatrices et transformateurs électriques tournants, par M. J. Paraf.....	322
Contribution à l'étude des actinomètres électrochimiques, par M. de Fooz.....	373
Construction des inducts à courant continu : l'arbre et ses tourillons, par MM. E.-J. Brunswick et M. Aliamet.....	322
Construction des machines électriques (La), par M. Dalémont.....	373
Contremaitre mécanicien (Le), par MM. J. Lombard et J. Cahen.....	126
Cours municipal d'Électricité industrielle, par M. L. Barbillion.....	320
Électricité (L'), par M. L. Poincaré.....	549
Électricité considérée comme forme de l'Énergie. Les notions fondamentales. Le potentiel et la quantité d'Électricité, par M. le Lieutenant-Colonel Ariès.....	374
Électro-aimant à courants alternatifs, par M. Gossart.....	607
Éléments de Mathématiques supérieures à l'usage des physiciens, chimistes et ingénieurs, par M. H. Vogt.....	430
Essais de machines à courant continu et alternatif, par M. P. Bourguignon.....	608
Exercices et projets d'Électrotechnique, par MM. Eric Gerard et O. de Bast....	609
Formules. Tables et renseignements usuels. Aide-mémoire des ingénieurs, des architectes, etc., par M. G. Claudel.....	549
Fours électriques et leurs applications industrielles (Les), par M. J. Escard....	128
Hygiène du travail dans les établissements industriels et commerciaux (L'), par M. L. Grillet.....	201
Lampes à incandescence électriques (Les), par M. J. Rodet.....	373
Leçons élémentaires de Physique, par M. A. Turpain.....	130
Manuel de l'apprenti et de l'amateur électricien.....	200
Manuel de manipulations d'Électrochimie, par M. Ch. Marie.....	129

	Pages
Manuel pratique d'Électricité médicale, par M. le D ^r G. Geiger.....	199
Moteurs électriques à courant continu et à courants alternatifs. Théorie et construction, par M. Henry Hobart.....	127
Neuere elektrophysikalische Erscheinungen, par M. E. Ruhmer.....	550
Notes et formules de l'ingénieur et du constructeur mécanicien, par MM. Vigreux, Milandre et Bouquet.....	374
Notions générales sur la Télégraphie sans fil, par M. R. de Valbreuze.....	608
Piles sèches et leurs applications (Les), par M. A. Berthier.....	126
Précis d'Électricité, par M. Paul Niewenglowski.....	320
Prix de vente et prix de revient de l'énergie électrique, suivi d'un Essai de tarification rationnelle, par M. G. Siegel.....	480
Procédés d'allumage des moteurs à explosion, par M. A. Berthier.....	126
Règle à calculs, par M. A. Beglim.....	608
Rivetage, par M. Fricker.....	202
Sécurité du travail dans les établissements industriels et commerciaux (La), par M. L. Grillet.....	201
Théorie et calcul des lignes à courants alternatifs, par M. Rössler.....	127
Traité complet d'analyse chimique appliquée aux essais industriels, par MM. J. Post et B. Neumann.....	609
Traité de manipulations et de mesures électriques et magnétiques industrielles, par M. H. Pécheux.....	321
Traité pratique d'Électricité industrielle. par M. Boy de la Tour.....	607
Was sind und wie entstehen Erfindungen? par M. Josef Löwy.....	320

Communications diverses.

Allocution de M. Ch.-Ed. Guillaume.....	264
Assemblée générale annuelle du 10 avril.....	205
Bibliographie.....	126, 199, 320, 373, 430, 480, 549, 607
Comité d'administration (Rapport du).....	212
Comité d'administration (Renouvellement partiel).....	135, 263
Commission des comptes, Rapport de l'exercice 1906; par M. Pellissier, rapporteur.....	209
Dons.....	10, 209, 290, 326
École supérieure d'Électricité (Liste des élèves diplômés).....	479
Éloge funèbre de M. Löwy.....	483
Informations.....	477, 548
Insigne de la Société.....	290
Laboratoire et l'École supérieure d'Électricité (Compte rendu sur le), par M. Janet.....	214
Membres décédés.....	10, 80, 207, 326, 378, 483, 554
Membres titulaires (Admission de).....	6, 78, 134, 206, 290, 326, 378, 482, 554
Notice nécrologique : E. Hospitalier, par M. M. Leblanc.....	207
Id. J.-L. Laffargue, par M. Brylinski.....	554
Ouvrages offerts (Liste des).....	76, 131, 203, 287, 324, 375, 432, 551, 611
Situation financière et bilan.....	222

	Pages
Visites au métropolitain.....	326
Visites aux usines de Saint-Denis	485
Réunion ordinaire mensuelle du 9 janvier 1907.....	5
Id. Id. 6 février 1907.....	77
Id. Id. 6 mars 1907.....	133
Id. Id. 10 avril 1907.....	205
Id. Id. 1 ^{er} mai 1907.....	289
Id. Id. 5 juin 1907.....	325
Id. Id. 3 juillet 1907.....	377
Id. Id. 6 novembre 1907.....	481
Id. Id. 4 décembre 1907.....	553
Table alphabétique des matières	613
Table alphabétique des auteurs	617

Communications techniques.

Appareillage électrique à haute et basse tension (L'), par M. Vedovelli.....	501
Appareils de protection contre les conséquences des ruptures des conducteurs aériens, par M. Barré.....	565
Application des appareils de protection aux lignes de trolley, par M. Mariage...	585
Autotélégraveur Carbonnelle, par M. J. Blondin.....	367
Commission internationale de Photométrie (La), par M. F. Laporte.....	487, 601
Développement de la traction électrique (Le), par M. de Valbreuze.....	11
Discussion de la Communication de M. de Valbreuze sur la traction électrique, par MM. Marius Latour, Guéry et Grazmüller, de Marchena, Mazon, de Traz.....	81, 227
Discussion de la Communication de M. Vedovelli sur l'appareillage électrique à haute et basse tension, par MM. Courtois, Grosselin et Vedovelli.....	557
Électrons (Sur les), par M. H. Becquerel.....	291
Essais ayant pour but l'identification des balais de charbon pour dynamos.....	433
État actuel de l'accumulateur fer-nickel, par M. Jumaù.....	379
Étude expérimentale des lignes et des appareils télégraphiques, par M. Devaux- Charbonnel.....	171, 333
Fixation de l'azote atmosphérique, par M. Blondin	429
Loi de l'attraction magnétique à distance et ses applications, par M. R.-V. Picou.	307
Nouvelles lampes électriques au tungstène, par MM. Bainville et P. Janet.....	115
Observations sur la Communication de M. R.-V. Picou, par M. Bouchet.....	327
Progrès récents des lampes à arc (Les) : les arcs à flamme, par M. Blondel.	137, 267
Remarques sur l'accumulateur Edison, par M. P. Janet.....	427
Système de signes conventionnels pour la représentation des appareils et instal- lations électriques, par M. Brunswick.....	103



TABLE ALPHABÉTIQUE DES AUTEURS

CITÉS DANS LE TOME VII (2^e SÉRIE).

	Pages
ALIAMET et BRUNSWICK. — Construction des induits à courant continu : l'arbre et ses tourillons. (<i>Bibl.</i>).....	322
ARIÈS. — L'Électricité considérée comme forme de l'énergie. Les notions fondamentales. Le potentiel et la quantité d'Électricité. (<i>Bibl.</i>).....	374
BAINVILLE. — Nouvelles lampes électriques au tungstène.....	115
BARBILLION (L.). — Cours municipal d'Électricité industrielle. (<i>Bibl.</i>).....	320
BARRÉ. — Appareils de protection contre les conséquences des ruptures des conducteurs aériens.....	565
BAST (O. DE) et GERARD (ERIC). — Exercices et projets d'Électrotechnique. (<i>Bibl.</i>).....	609
BEQUERREL (H.). — Sur les électrons.....	291
BGLIM (A.). — Règle à calculs. (<i>Bibl.</i>).....	608
BERTHIER (A.). — Les piles sèches et leurs applications. (<i>Bibl.</i>).....	126
BERTHIER (A.). — Procédés d'allumage des moteurs à explosion. (<i>Bibl.</i>).....	126
BLONDEL. — Les progrès récents des lampes à arcs : les arcs à flamme..	137, 267
BLONDIN (J.). — Autotélégraveur Carbonnelle.....	367
BLONDIN (J.). — Fixation de l'azote atmosphérique.....	429
BOUCHET. — Observations sur la Communication de M. R.-V. Picou.....	327
BOUGAULT (P.). — Commentaire de la loi sur les distributions d'énergie électrique. (<i>Bibl.</i>).....	609
BOUQUET, VIGREUX, MILANDRE. — Notes et formules de l'ingénieur et du constructeur mécanicien. (<i>Bibl.</i>).....	374
BOURGUIGNON (P.). — Essais de machines à courant continu et alternatif. (<i>Bibl.</i>).....	608
BOY DE LA TOUR (H.). — Traité pratique d'électricité industrielle. (<i>Bibl.</i>).....	607
BRUNSWICK et ALIAMET. — Construction des induits à courant continu : l'arbre et ses tourillons. (<i>Bibl.</i>).....	322
BRUNSWICK. — Système de signes conventionnels pour la représentation des appareils et installations électriques.....	103
BYRLINSKI. — Notice nécrologique : J. Laffargue.....	554
CAHEN et LOMBARD. — Le contremaître mécanicien. (<i>Bibl.</i>).....	126
CLAUDEL (G.). — Formules, Tables et renseignements usuels. Aide-mémoire des ingénieurs, des architectes, etc. (<i>Bibl.</i>).....	549
COURTOIS (G.). — Discussion de la Communication de M. Vedovelli.....	557

	Page
DALÉMONT (J.). — La construction des machines électriques. (<i>Bibl.</i>).....	373
DEVAUX-CHARBONNEL. — Étude expérimentale des lignes et des appareils télégraphiques.....	171, 333
ESCARD (J.). — Le carbone et son industrie. (<i>Bibl.</i>).....	199
ESCARD (J.). — Les fours électriques et leurs applications industrielles. (<i>Bibl.</i>).....	128
FOOZ (DE). — Contribution à l'étude des actinomètres électrochimiques. (<i>Bibl.</i>).....	373
FOVEAU DE COURMELLES. — L'année électrique, électrothérapie et radiographie. (<i>Bibl.</i>).....	200
FRICKER. — Rivetage. (<i>Bibl.</i>).....	202
GEIGER (Dr G.). — Manuel pratique d'électricité médicale. (<i>Bibl.</i>).....	199
GERARD (ERIC) et BAST (O. DE). — Exercices et projets d'Électrotechnique. (<i>Bibl.</i>).....	609
GOSSARD. — L'électro-aimant à courants alternatifs. (<i>Bibl.</i>).....	607
GRATZMULLER. — Discussion de la Communication de M. de Valbreuze.....	98
GRILLET (L.). — L'hygiène du travail dans les établissements industriels et commerciaux. (<i>Bibl.</i>).....	201
GRILLET (L.). — La sécurité du travail dans les établissements industriels et commerciaux. (<i>Bibl.</i>).....	201
GROSSKLIN. — Discussion de la Communication de M. Vedovelli.....	563
GUÉRY. — Discussion de la Communication de M. de Valbreuze.....	92
GUILLAUME (Ch.-Ed.). — Allocution.....	264
HOBART (H.-M.). — Moteurs électriques à courant continu et à courants alternatifs. Théorie et construction. (<i>Bibl.</i>).....	127
JACQUIN (Ch.). — Alternateurs à collecteurs monophasés et polyphasés et les dynamos à courant continu à deux paires de balais (Les). (<i>Bibl.</i>).....	430
JUMAU. — État actuel de l'accumulateur fer-nickel.....	379
JANET (P.). — Compte rendu sur le Laboratoire et l'École supérieure d'Électricité.....	214
JANET (P.). — Nouvelles lampes électriques au tungstène.....	122
JANET (P.). — Remarques sur l'accumulateur Edison.....	427
LAPORTE (F.). — La Commission internationale de Photométrie.....	487, 601
LATOUR (Marius). — Discussion de la Communication de M. de Valbreuze.....	81
LEBLANC (Maurice). — Notice nécrologique : E. Hospitalier.....	207
LOMBARD et CAHEN. — Le contremaître mécanicien. (<i>Bibl.</i>).....	126
LÖWY (Josef). — Was sind und wie entstehen Erfindungen? (<i>Bibl.</i>).....	320
MARCHENA (DE). — Discussion de la Communication de M. de Valbreuze.....	227
MARIAGE (L.). — Application des appareils de protection aux lignes de trolley.....	585
MARIE (Ch.). — Manuel de manipulations d'électrochimie. (<i>Bibl.</i>).....	129
MAZEN. — Discussion de la Communication de M. de Valbreuze.....	234
MILANDRE, BOUQUET, VIGREUX. — Notes et formules de l'ingénieur et du constructeur mécanicien. (<i>Bibl.</i>).....	374
MONTPELLIER (J.). — Agenda Dunod pour 1908 : Électricité. (<i>Bibl.</i>).....	610
NEUMANN (B.) et POST (J.). — Traité complet d'analyse chimique appliquée aux essais industriels (<i>Bibl.</i>).....	609
NIEWENGLOWSKI (Paul). — Précis d'Électricité. (<i>Bibl.</i>).....	320
PARAF (J.). — Commutateurs et transformateurs électriques tournants. (<i>Bibl.</i>).....	322

	Pages
PÉCHEUX (H.). — Traité de manipulations et de mesures électriques et magnétiques industrielles. (<i>Bibl.</i>).....	321
PELLISSIER. — Rapport de la Commission des comptes pour l'Exercice 1906....	209
PICOU (R.-V.). — Loi de l'attraction magnétique à distance et ses applications.....	307
POINCARÉ (L.). — L'Électricité. (<i>Bibl.</i>).....	549
POST (J.) et NEUMANN (B.). — Traité complet d'analyse chimique appliquée aux essais industriels (<i>Bibl.</i>).....	609
RODET (J.). — Les lampes à incandescence électriques. (<i>Bibl.</i>).....	373
ROESSLER. — Théorie et calcul des lignes à courants alternatifs. (<i>Bibl.</i>).....	127
RUHMER (E.). — Neuere elektrophysikalische Erscheinungen. (<i>Bibl.</i>).....	550
SELIGMANN-LUI. — Bases d'une théorie mécanique de l'Électricité. (<i>Bibl.</i>).....	130
SIEGEL (G.). — Prix de vente et prix de revient de l'énergie électrique, suivi d'un Essai de tarification rationnelle. (<i>Bibl.</i>).....	480
TRAZ (DE). — Discussion de la Communication de M. de Valbreuze.....	246
TURPAIN (A.). — Leçons élémentaires de Physique. (<i>Bibl.</i>).....	130
VALBRUZE (DE). — Le développement de la traction électrique.....	11
VALBREUZE (DE). — Notions générales sur la Télégraphie sans fil. (<i>Bibl.</i>).....	608
VEDOVELLI. — L'appareillage électrique a haute et basse tension.....	501
VIGREUX, MILANDRE, BOUQUET. — Notes et formules de l'ingénieur et du constructeur mécanicien. (<i>Bibl.</i>).....	374
VOGT (H.). — Éléments de Mathématiques supérieures à l'usage des physiciens, chimistes et ingénieurs. (<i>Bibl.</i>).....	430



PARIS. — IMPRIMERIE GAUTHIER-VILLARS.
39279 Quai des Grands-Augustins, 55.

1100 - 01

ENCYCLOPÉDIE INDUSTRIELLE,

Fondée par M.-C. LECHALAS, Inspecteur général des Ponts et Chaussées, en retraite.

CHEMINS DE FER.

EXPLOITATION TECHNIQUE

PAR MM.

SCHÖLLER,

Chef adjoint des Services commerciaux
à la Compagnie du Nord.

FLEURQUIN,

Inspecteur des Services commerciaux
à la même Compagnie.

UN VOLUME GRAND IN-8 AVEC FIGURES; 1901..... 12 FR.

Une tendance de l'esprit, qui n'est pas rare parmi nous, pousse certaines personnes à systématiser toutes choses. Il est cependant facile de comprendre qu'en matière d'exploitation de chemins de fer ou de canaux, par exemple, les conditions locales, envisagées sous tous les rapports (naturels, commerciaux), doivent avoir une grande influence; on verra que les auteurs du présent Ouvrage comprennent les diversités qui peuvent se produire et résistent à la tentation de professer à outrance, à des points de vue toujours exclusifs: leurs confrères leur en sauront gré et la chose publique s'en trouvera bien. — Qui ne sent que les canaux manquent d'une variété nécessaire, qui ne prévoit que leur exploitation serait plus fructueuse pour le pays si des administrations diverses, intéressées, avaient la haute main sur les réseaux en lesquels on en diviserait l'ensemble?

Les deux auteurs sont gens du métier autant qu'on peut l'être, en ce qui concerne l'exploitation des grands réseaux des chemins de fer. Aussi trouvera-t-on dans leur Ouvrage des développements sur les sujets les plus variés: *Tracé des lignes; Etude des gares* (emplacements, voies, bâtiments); *Points spéciaux* (bifurcations à double ou à simple voie, triangles, troncs communs, exploitation à voies uniques parallèles, croisements avec passages en dessus ou en dessous, ponts tournants); *Embranchements particuliers; Contacts entre les lignes à largeur de voie différente; Outillage des gares; Signaux; Mouvements; Circulation des trains; Composition des trains; Eclairage et chauffage des gares et des trains; Applications diverses de l'électricité* (correspondance entre les gares, etc.).

L'important Ouvrage de MM. Schœller et Fleurquin sera complété plus tard par un Volume spécial sur l'Exploitation commerciale.

Table des Matières.

INTRODUCTION. Division du sujet. Organisation des services d'exploitation dans la plupart des grandes administrations de chemins de fer. Du rôle d'un directeur d'exploitation.

I^{re} PARTIE. **Exploitation technique.** — CHAP. I. **Tracé des lignes de chemins de fer.** Considérations d'exploitation qui, dans l'étude d'un tracé, doivent guider l'ingénieur chargé de la construction. Trafic et recette probables de la ligne. Largeur de la voie. Nombre des voies. Limites du rayon des courbes et des déclivités. Conditions générales à observer pour un tracé. Longueur virtuelle d'un tracé. Gabarit. — CHAP. II. **Etude des gares.** Choix d'un emplacement. Voies: Arrêts. Haltes. Stations. Gares principales. Gares de bifurcation. Gares terminus. Gares frontières. Gares de triage et de formation. Chantiers à affectations spéciales. Gares à étages. Gares maritimes. Gares sur les chemins à voie étroite. Bâtiments: Haltes et gares de passage. Gares terminus. Gares sur les chemins à voie étroite. Services de douanes. Buffets et hôtels. — CHAP. III. **Disposition des points spéciaux de la voie.** Bifurcations à double et à simple voie. Triangles. Troncs communs. Exploitation à voies uniques parallèles. Croisements avec passage en dessus ou en dessous. Ponts tournants. — CHAP. IV. **Embranchements particuliers.** Conditions d'établissement. Raccordements dans les gares. Garages en pleine voie. Dispositions à l'intérieur de l'embranchement. Chemins industriels et miniers. — CHAP. V. **Contact entre les lignes à largeur de voie différente.** Gares communes. Installations pour le transbordement des voyageurs. Installations pour le transbordement des marchandises. Troncs communs à plus de deux rails. — CHAP. VI. **Outillage des gares.** Grues de chargements. Treuils. Chariots. Machines de manutention. Cabestans hydrauliques. Cabestans électriques. Monte-charges à wagons. Monte-charges pour bagages. Ponts à bascule. Bascules pour colis et bagages. — CHAP. VII. **Signaux.** Définition et nécessité des signaux. Principe de l'exploitation à voie ouverte ou à voie fermée. Code des signaux. Types des signaux. Distinction à faire entre la couverture des trains et celle des obstacles fixes. Block-system. Enclenchements. Serrures ou enclenchements portatifs. Intervention de l'automatisme dans les signaux. — CHAP. VIII. **Mouvement.** Préparation des graphiques de la marche des trains. Division des trains par natures. Vitesses des trains. — CHAP. IX. **Circulation des trains.** Circulation sur les voies uniques. Cloches électriques. Fonctionnement du block-system. Dérangements dans la marche des trains-garages. Secours. Pilotage. Interruptions dans la circulation. Dérives. — CHAP. X. **Composition des trains.** Matériel roulant. Freins. Charge des trains. Répartition du matériel. — CHAP. XI. **Eclairage et chauffage des gares et des trains.** Eclairage des gares. Eclairage des trains. Chauffage des gares. Chauffage des trains. — CHAP. XII. **Applications diverses de l'électricité pour la correspondance entre les gares.** Télégraphe. Postes de secours. Téléphone. Appareils divers de correspondance avec application de l'électricité.

GEOFFROY & DELORE

Paris 1900, Grand Prix

28, rue des Chasses, à CLICHY (Seine).



Téléphone 503.71, 503.73

CABLES & FILS ISOLÉS

POUR TOUTES LES APPLICATIONS DE L'ÉLECTRICITÉ

Système complet de canalisations pour courant électrique continu, alternatif, triphasé pour
TENSIONS DE 30.000 VOLTS
comprenant les Câbles conducteurs, les Boîtes de jonction, de branchement, d'abonnés, d'interruption, etc.

DE TRÈS IMPORTANTS RÉSEAUX DE CABLES SOUTERRAINS ARMÉS FONCTIONNANT A
30.000, 10.000, 5.000, 2.500, 500, 120 VOLTS
SONT ACTUELLEMENT EN MARCHÉ NORMALE.

ACCUMULATEURS ALPHA & OMEGA

COMPAGNIE FRANÇAISE POUR L'EXPLOITATION DES PROCÉDÉS

THOMSON-HOUSTON

Téléphone : Capital : 40 millions de francs. Adresse Télégraphique
158.11 — 158.81 PARIS. — 10, rue de Londres, 10. — PARIS. ELIHU, PARIS

**TRACTION ÉLECTRIQUE — ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE
TRANSPORT DE FORCE — APPAREILS DE MINES**

Ateliers de Construction : 41, rue des Volontaires, PARIS

Diplôme d'honneur, Exposition intern^{le} d'Electricité, Paris 1881. Hors concours, membre du Jury à l'Exposition intern^{le} de 1889.

MAISON BREGUET

Fondée en 1783. — Société anonyme au capital de 4.000.000 de francs
PARIS. — 19, rue Didot. — PARIS.

APPLICATIONS GÉNÉRALES DE L'ÉLECTRICITÉ

Courant continu. — Courants alternatifs.

**DYNAMOS A COURANT CONTINU DE TOUTES PUISSANCES
ALTERNATEURS COMPOUND SYSTÈME BOUCHEROT**

à courant alternatif simple et à courants polyphasés pour éclairage et transmission de force.

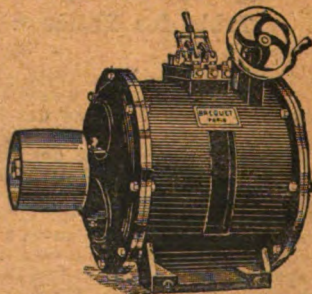
MOTEURS ASYNCHRONES

Système Boucherot

Ni collecteur

Ni balais

Ni accessoires
de démarrage.



A COURANTS POLYPHASÉS

Breveté S. G. D. G.

Démarrage direct en charge.

Le courant de démarrage
est proportionnel
au couple moteur développé.

Constructeur exclusif des Turbines à vapeur, système de Laval, de 5 à 300 chevaux

(Brevet de la Société de Laval).

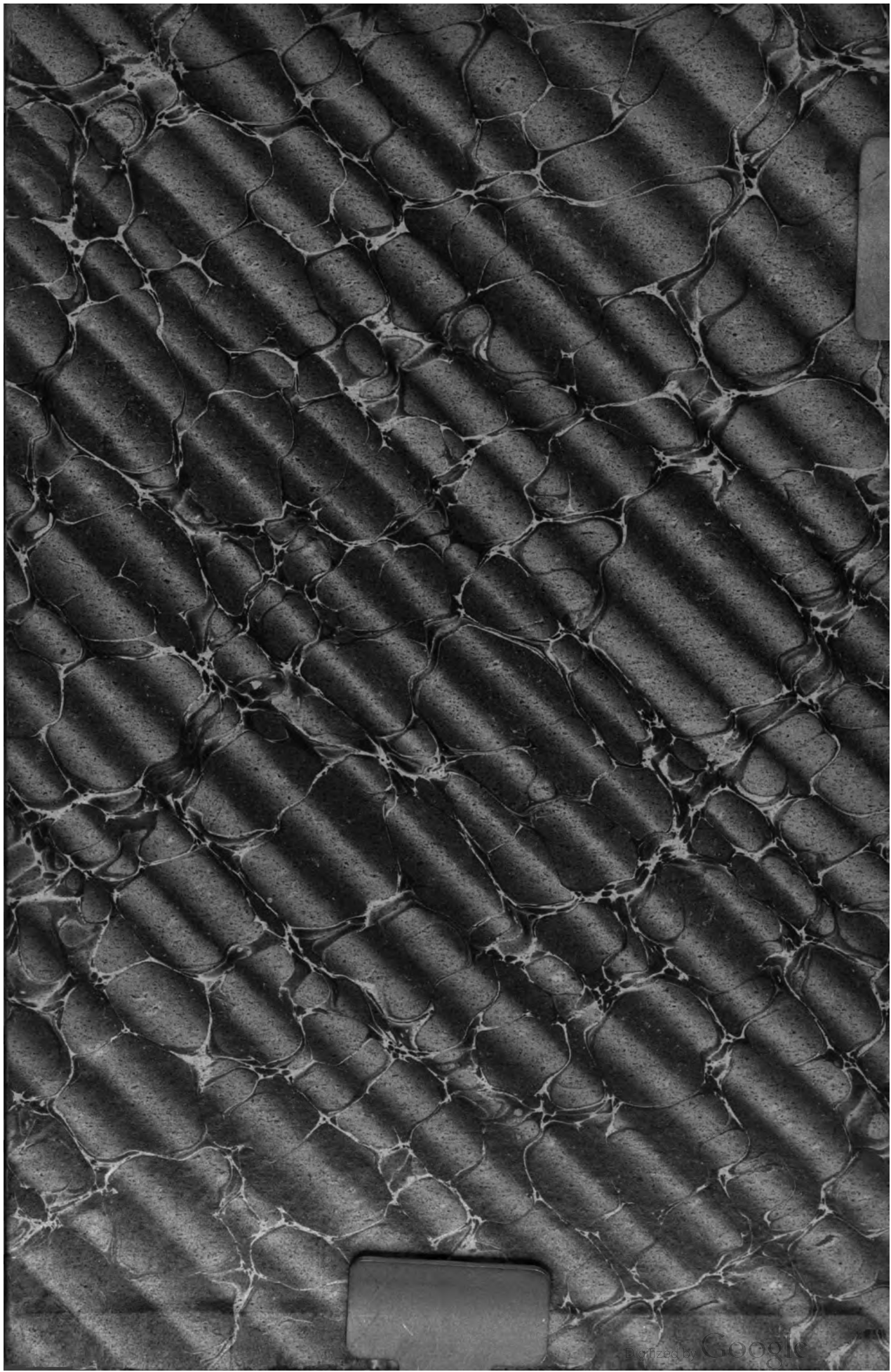
Turbines dynamos. — Turbines motrices. — Turbines pompes. — Turbines ventilateurs.

ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE DES NAVIRES

Projecteur à miroir parabolique, breveté S. G. D. G. — Lampe mixte horizontale, brevetée S. G. D. G.

APPAREILS TÉLÉGRAPHIQUES. — APPAREILS TÉLÉPHONIQUES.





Widener Library



3 2044 082 518 424

HD